

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Februar 2003 (27.02.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 03/016745 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F16D 65/21**,
B60T 13/74

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP02/04522

(22) Internationales Anmeldedatum:
24. April 2002 (24.04.2002)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
101 40 078.0 16. August 2001 (16.08.2001) DE
101 40 953.2 21. August 2001 (21.08.2001) DE
101 61 762.3 15. Dezember 2001 (15.12.2001) DE
101 63 053.0 21. Dezember 2001 (21.12.2001) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **WABCO GMBH & CO.OHG** [DE/DE]; Am Lin-
dener Hafen 21, 30453 Hannover, Postfach 91 12 62, 30432
Hannover (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FÖRSTER, Henning**

[DE/DE]; Untere Wanne 15, 31171 Nordstemmen (DE).
GROETZINGER, Thomas [DE/DE]; Gerhart-Haupt-
mann-Str. 11, 30989 Gehrden (DE). **GRADERT, Detlef**
[DE/DE]; Am Fleitgraben 2 a, 29336 Nienhagen (DE).
BEIER, Peter [DE/DE]; Treuburger Str. 3, 31515 Wun-
storf (DE).

(74) Anwalt: **SCHRÖDTER, Manfred**; Wabco GmbH & Co.
OHG, Am Lindener Hafen 21, 30453 Hannover, Postfach
91 12 62, 30432 Hannover (DE).

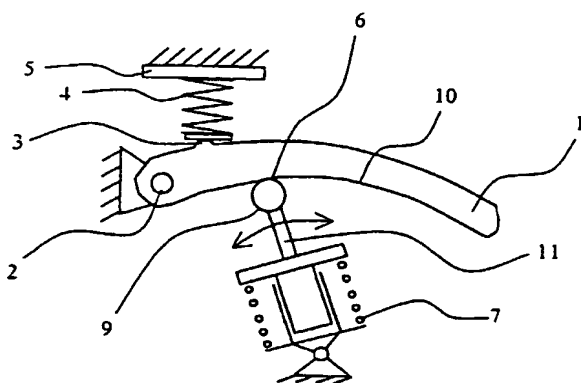
(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,
CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE,
GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR,
KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK,
MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU,
SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW),
eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK,
ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR),

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ACTUATING DEVICE FOR A BRAKE

(54) Bezeichnung: ZUSPANNEINRICHTUNG FÜR EINE BREMSE



(57) Abstract: The invention relates to an actuation device for a brake (40, 41, 42, 43, 50), for applying an output force (F_A) to means (40, 41, 42, 43, 50) which generate braking force, depending on an input parameter (F_E), comprising a lever (1) and a force generator (7) which brings a force (F_{Feder}) to bear on the lever (1) at an effective angle (α), relative to the longitudinal axis of the lever (1). Furthermore, an alternative actuating device for a brake is given, which permits a significant reduction of the power and energy requirements relative to direct-acting actuating devices. The above is achieved by means of a low-friction actuation characteristic as a result of the construction features of the actuating device and/or the selection of materials used. A preferred field of application is in electrically-driven braking systems on commercial vehicles.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Zusp-
panneinrichtung für eine Bremse (40, 41, 42, 43, 50) zur Abgabe
einer Ausgangskraft (F_A) auf Bremskraft erzeugende Mittel (40, 41, 42, 43, 50) in Abhängigkeit von einer Eingangsgröße (F_E),
mit einem Hebel (1) und einem bezüglich der Längsachse des Hebels (1) in einem Einwirkwinkel (α) eine Kraft (F_{Feder}) auf den
Hebel (1) aufbringenden Kraftezeuger (7). Hiervon ausgehend ist eine alternative Zusp-
panneinrichtung für eine Bremse anzugeben, die eine erhebliche Reduzierung des Leistungs- und Energiebedarfs gegenüber direkt zusp-
pannenden Einrichtungen erlaubt. Dies wird ermöglicht durch eine reibungsarme Zusp-
pann-Charakteristik bedingt durch die konstruktive Ausführung der
Zusp-
panneinrichtung und/oder durch die Auswahl der verwendeten Materialien. Bevorzugtes Anwendungsgebiet der Erfindung sind
elektrisch betriebene Bremssysteme in Nutzfahrzeugen.

WO 03/016745 A2

WO 03/016745 A2



OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

Zuspanneinrichtung für eine Bremse

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Zuspanneinrichtung für eine Bremse gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Eine gattungsgemäße Zuspanneinrichtung ist aus der internationalen Patentanmeldung WO 01/44677 A1 bekannt.

Bei der bekannten Zuspanneinrichtung werden die Reibelemente einer Bremse über einen Hebel zugespant. Ein an einer variierbaren Stelle des Hebels angreifender, eine vorgespannte Feder aufweisender Kraftherzeuger kann durch eine Variation des Krafteinwirkungspunkts eine einstellbare Kraft auf den Hebel und damit auf die Bremsbeläge ausüben. Die Einwirkposition des Kraftherzeugers kann dabei über einen Stellmotor, z. B. einen Elektromotor, verstellt werden. Vorteil dieser Konstruktion ist eine im Vergleich zu einer direkten elektromotorischen Zuspannung erheblich verringerte Leistungsaufnahme des Elektromotors bei gleichzeitig relativ schneller Zuspannung und demzufolge auch ein verringertener Energiebedarf pro Bremsung. Der wesentliche Teil der zum Lösen der Bremse und dem damit einherge-

henden erneuten Spannen der Feder des Krafterzeugers erforderlichen Energie wird dabei aus der in den Bremsbelägen und weiteren Teilen der Bremse infolge elastischer Verformung gespeicherten Energie entnommen.

Die bekannte Zuspanneinrichtung weist bereits einen hohen Wirkungsgrad hinsichtlich Leistungsaufnahme und Energieverbrauch sowie eine günstige Zuspanncharakteristik auf. Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine alternative Zuspanneinrichtung für eine Bremse anzugeben, die ebenfalls eine erhebliche Reduzierung des Leistungs- und Energiebedarfs gegenüber direkt zuspannenden Einrichtungen erlaubt.

Diese Aufgabe wird durch die in dem Patentanspruch 1 angegebene Erfindung gelöst. Weiterbildungen und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung hat den Vorteil, daß eine sichere und zuverlässige Funktion der Zuspanneinrichtung in einem weiten Bereich des Einwirkwinkels gewährleistet ist.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind Mittel zur Veränderung des Einwirkwinkels in Abhängigkeit der Eingangsgröße vorgesehen, derart, daß die Ausgangskraft mittels einer Einstellung des Einwirkwinkels auf einen gewünschten Wert einstellbar ist. Dies hat den Vorteil, daß der Kraftübertragungspunkt auf den Hebel konstant gehalten werden kann, da die Variation der

Ausgangskraft nun mittels einer Veränderung des Einwirkwinkels des Krafterzeugers auf den Hebel einstellbar ist. Hierdurch kann der Hebel und das die Hebelkonstruktion umgebende Gehäuse kompakt gehalten werden. Ein weiterer Vorteil ist, daß eine gegenseitige Unterstützung der Krafteinwirkungen des Krafterzeugers und einer von der Eingangsgröße abgeleiteten Eingangskraft zur Erzeugung der Zuspannkraft realisierbar ist.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wirkt die von einer Eingangsgrößen/Kraft-Umsetzeinrichtung erzeugte Eingangskraft für die Zuspanneinrichtung unterstützend zu der von dem Krafterzeuger auf den Hebel in Zuspannrichtung ausgeübten Kraft, sodaß die als Zuspannkraft auf die Bremsbeläge einwirkende resultierende Kraft vergrößert wird. Hierdurch wird eine weitere Verbesserung des Wirkungsgrades erzielt. Außerdem kann der Krafterzeuger um dasjenige Maß kleiner ausgelegt werden, das von der Eingangsgrößen/Kraft-Umsetzeinrichtung beigesteuert wird.

Ein weiterer, erheblicher Vorteil dieser Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, daß bei einem Defekt an dem Krafterzeuger, der zu einer an sich unerwünschten Minderung des von dem Krafterzeuger beigesteuerten Kraftanteils führen kann, mittels des von der Eingangsgrößen/Kraft-Umsetzeinrichtung abgegebenen Kraftanteils eine Art Notbetrieb für die Bremsanlage aufrechterhalten werden kann. Es sind dann weiterhin Abbremsungen des Fahrzeuges möglich, jedoch mit einer im Vergleich

zur normalerweise möglichen maximalen Zuspannkraft verminderten Zuspannkraft und damit einer verminderten Verzögerung. Durch den Notbetrieb kann eine Verbesserung der Betriebssicherheit der Bremsanlage herbeigeführt werden. Des weiteren trägt eine derartige Ausgestaltung zu einer Verbesserung der Akzeptanz rein elektromechanischer, elektronisch gesteuerter Bremsanlagen (brake-by-wire) bei.

Gemäß vorteilhafter Weiterbildungen der Erfindung wirkt die Eingangsgrößen/Kraft-Umsetzeinrichtung über eine Einrichtung zur Veränderung der Winkellage des Hebels auf den Hebel ein. In vorteilhafter Weise ist die Einrichtung zur Veränderung der Winkellage des Hebels zudem ein Bestandteil der Mittel zur Veränderung des Einwirkwinkels. Hierdurch ist die gesamte Konstruktion, nämlich Zuspanneinrichtung und Eingangsgrößen/Kraft-Umsetzeinrichtung mit besonders wenigen Bauteilen herstellbar und läßt sich somit besonders kompakt und gewichtsparend ausführen. Dies ist auch insbesondere im Hinblick auf eine erwünschte Reduzierung der ungefederten Massen eines Fahrzeugs von Bedeutung, durch welche eine Verbesserung des Fahrkomforts erzielbar ist. Ein weiterer Vorteil ist die vereinfachte Montage und die geringere Ausfallwahrscheinlichkeit infolge der geringen Anzahl der notwendigen Bauteile.

Als eine bevorzugte Ausgestaltung der Mittel zur Veränderung der Winkellage des Hebels seien eine Kombination aus einem Zahnrad und einem mit dem Zahnrad in Eingriff

stehenden, einer gekrümmten Zahnstange ähnlichen Zahnkranzsektor, welcher mit dem Hebel fest verbunden ist, genannt. Es ist auch möglich, eine Reibrad-Konstruktion oder eine gelenkig mit dem Hebel verbundene Gewindespindel einzusetzen.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der Hebel bei Ausfall der Eingangsgröße bzw. der Eingangskraft in eine definierte Winkelposition bewegbar. Hierdurch kann ein anhaltendes Bremsen bzw. ein Festbremsen im Stillstand vermieden werden, wenn aus irgendeinem Grund eine Zurücknahme der Ausgangskraft mittels einer Steuerung der Eingangsgröße oder der Eingangskraft nicht durchführbar sein sollte. In besonders vorteilhafter Weise kann dies durch eine bestimmte Ausgestaltung der Kontur in dem Krafterzeuger realisiert werden, wie nachfolgend noch näher ausgeführt. Insbesondere ist eine selbstlösende Charakteristik der Bremse realisierbar.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Hebel mittels der von dem Krafterzeuger darauf ausgeübten Kraft auch ohne Wirkung der Eingangskraft in eine definierte Endposition bewegbar. Dies hat den Vorteil, insbesondere in Verbindung mit einem mechanischen Anschlag, durch den eine definierte Endposition festgelegt ist, daß auch ohne Kenntnis der aktuellen Zuspansposition bzw. der Hebelstellung und ohne besondere Steuermaßnahmen für die Eingangsgröße eine definierte mechanische und damit auch bezüglich der Steu-

erlogik für die Eingangsgröße definierte logische Endposition einstellbar ist. Insbesondere kann in diesem Zustand ein Abgleich zwischen mechanischer Endposition und logischer Endposition vorgenommen werden. Hiermit können beispielsweise zeitlich oder thermisch bedingte Wertebereichsänderungen, z. B. bei der Sensierung des Hebelwinkels, kompensiert werden.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einstellung der Zuspannkraft bei der bereits erwähnten Zuspanneinrichtung für eine Bremse.

Verfahren zur Einstellung einer Zuspannkraft für eine Radbremse sind beispielsweise aus der WO 99/16650 A1 oder DE 29 62 787 U1 bekannt. Diesen und ähnlichen Veröffentlichungen ist gemeinsam, daß sie sich auf einen Radbremsaktor beziehen, der über einen Elektromotor über eine Spindel betrieben wird. Aus Kostengründen und um Sensoren zu sparen, soll die real eingestellte Zuspannkraft dabei möglichst aus dem Motorstrom bestimmt werden. Da die dort vorgesehene Konstruktion der Zuspanneinrichtung jedoch mit relativ großen Reibungsverlusten und einer daraus resultierenden Hysterese zwischen dem Zuspinnen und dem Lösen der Bremse behaftet ist, sind dort spezielle, auf die dortige mechanische Konstruktion zugeschnittene Lösungswege angegeben.

Die vorliegende Erfindung geht jedoch von einer anders gearteten mechanischen Konstruktion der Zuspanneinrichtung aus, welche einen steuerbaren Aktuator zur Ein-

stellung eines Zuspännwegs, über den infolge des Zuspännwegs ein erster Zuspännkraft-Anteil an die Bremse abgebar ist, sowie einen Kraftherzeuger zur Abgabe eines unterstützenden Zuspännkraft-Anteils an die Bremse aufweist. Mit einer derartigen Konstruktion kann der Bedarf an zugeführter Energie, insbesondere elektrischer Energie, im Vergleich zu den bekannten Konstruktionen spürbar reduziert werden. Ein weiterer Vorteil ist die vergleichsweise wesentlich geringere Hysterese der Zuspänneinrichtung.

Für eine Zuspänneinrichtung der zuvor beschriebenen, verbesserten Art besteht Bedarf daran, ein Verfahren zur Einstellung der Zuspännkraft gemäß einer Sollwert-Vorgabe anzugeben, das möglichst einfach zu realisieren ist und präzise arbeitet.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung erfolgt die Einstellung der Zuspännkraft gemäß einer Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) derart, daß ein Istwert (F_{Ist}) der an die Bremse abgegebenen Zuspännkraft aus dem ersten Zuspännkraft-Anteil und dem unterstützenden Zuspännkraft-Anteil berechnet wird und der Aktuator derart angesteuert wird, daß der Istwert der Zuspännkraft der Sollwert-Vorgabe entspricht.

Dies hat den Vorteil, daß zur Einstellung der Zuspännkraft gemäß der Sollwert-Vorgabe keine zusätzlichen Sensoren als die zum Betrieb ohnehin erforderlichen Sensoren notwendig sind. Von daher ist das Verfahren

kostengünstig anwendbar und kann vorzugsweise durch einen Software-Programmblock in einem elektronischen Steuergerät realisiert werden.

Je nach Art des Aktuators für die Betätigung der Zuspansseinrichtung kann entweder direkt das den Aktuator steuernde Betätigungssignal oder das Signal eines ohnehin vorhandenen Sensors, ob nun in dem Aktuator oder in der Steuereinrichtung, zur Bestimmung der Zuspannkraft verwendet werden. Auf gesonderte Kraft- oder Drucksensoren kann verzichtet werden.

So kann in einer Ausgestaltung der Erfindung die Zuspannkraft aus dem Zuspannweg ermittelt werden. Hierfür werden vorzugsweise in einem Steuergerät für die Bremse gespeicherte Kennlinien herangezogen. Weiterhin muß das Lüftspiel zuvor bestimmt werden, z.B. durch Auswertung der Zuspannbewegung, wie aus DE 195 36 695 A1 bekannt. Der Zuspannweg ergibt sich z. B. bei Verwendung eines nach dem Schrittmotorprinzip arbeitenden Elektromotors durch die Anzahl der Betätigungsschritte in Verbindung mit einem mechanischen Übersetzungsfaktor, z. B. einer Getriebeübersetzung. Es ist auch möglich, z. B. einen Elektromotor mit eingebauter Infrarotlichtschranke zu verwenden, die dann Auskunft über den Drehwinkel des Motors gibt. Dies erlaubt ebenfalls einen Rückschluß auf den Zuspannweg und das Lüftspiel.

In dem Fall, daß ein Elektromotor als Aktuator verwendet wird, kann als eine weitere vorteilhafte Ausgestal-

tung der Erfindung zur Ermittlung der Zuspannkraft der von dem Elektromotor aufgenommene Strom ausgewertet werden. In diesem Fall kann über die Auswertung einer bekannten oder gemessenen Motorkennlinie, die einen Zusammenhang zwischen Motorstrom und Ausgangsmoment des Motors herstellt, das an die Zuspanneinrichtung abgegebene Drehmoment ermittelt werden.

In besonders vorteilhafter Weise erlaubt die vorliegende Erfindung eine Verknüpfung sämtlicher zuvor genannten Arten der Ermittlung der Zuspannkraft sowie weitere, im nachfolgenden Ausführungsbeispiel genannte Arten. Insbesondere ist eine einfache Verknüpfung zwischen dem von dem Krafterzeuger beigesteuerten, unterstützenden Zuspannkraft-Anteil und dem von dem Aktuator abgegebenen ersten Zuspannkraft-Anteil möglich. Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird der auf die zuvor genannte Weise ermittelte Istwert der an die Bremse abgegebenen Zuspannkraft nach Art einer Regelung an die Sollwert-Vorgabe angeglichen. Hierfür ist es vorteilhaft, einen P-Regler einzusetzen, da dieser einerseits einfach zu realisieren ist, andererseits gut mit dem Integral-Verhalten der Regelstrecke harmonisiert. Wegen dieses Integral-Verhaltens tritt außerdem keine Regelabweichung beim gesamten Regelkreis auf.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird nach Einstellung der Sollwert-Vorgabe während einer Haltephase der Zuspannkraft der erste Zuspannkraft-Anteil von dem Aktuator um ein vorgegebenes Maß redu-

ziert. Dieses vorgegebene Maß liegt vorzugsweise innerhalb des Hysteresebereichs, so daß sich die Bremse nicht ungewollt wieder löst. Hierdurch kann die Energieaufnahme eines als Aktuator verwendeten Elektromotors und damit die Belastung des Bordnetzes deutlich reduziert werden. Zudem wird der Elektromotor und die zugehörige Steuerelektronik einer geringeren Erwärmung unterworfen und hierdurch geschont. Ein weiterer Vorteil ist, daß ein vergleichsweise kleinbauender Motor mit geringer Leistungsaufnahme verwendet werden kann. Infolgedessen kann auch die Steuerelektronik für die geringere Leistungsaufnahme ausgelegt werden und damit preisgünstiger hergestellt werden. Infolge der insgesamt geringeren Einschaltdauer des Elektromotors kann dieser zudem auf eine geringere zulässige Einschaltdauer ausgelegt werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist für die Erfassung des Istwerts der Zuspannkraft vorgesehen, den Elektroantrieb während einer Zuspannbewegung periodisch anzuhalten, die Zuspannkraft zu ermitteln und bei Nichterreichen der gewünschten Zuspannkraft den Elektroantrieb erneut zu betätigen. Dieser Vorgang wird stufenweise wiederholt, bis die gewünschte Zuspannkraft erreicht ist. Hierbei kann auch das von dem Elektroantrieb abgegebene Drehmoment separat erfaßt werden. Diese Art der Ausgestaltung ist insbesondere bei Anwendung von Elektroantrieben vorteilhaft, bei denen während der Betätigung nicht gleichzeitig die abge-

gebene Kraft aus der Stromaufnahme ermittelt bzw. der Strom nicht gemessen werden kann.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Lüftspiel-Aktuators für eine Bremse eines Fahrzeugs.

Ein Verfahren zur Steuerung eines Lüftspiel-Aktuators ist aus der DE 195 21 401 C1 bekannt.

Das bekannte Verfahren dient zur Steuerung einer Bremsanlage für ein Fahrzeug, welche eine Zuspanneinrichtung für eine druckluftbetätigte Bremse sowie einen davon unabhängig durch eine Fremdkraft betätigbaren Bremslüftspielsteller aufweist. Bei dem bekannten Verfahren ist in einer Betriebsart der Fahrzeugbremse vorgesehen, zunächst eine Bremsanforderung festzustellen, sodann ein selbsttätiges Überwinden des Bremslüftspiels durchzuführen, daraufhin die Fahrzeugbremse zuzuspannen, nach Beendigung der Bremsanforderung die Fahrzeugbremse zu lösen und schließlich das Bremslüftspiel selbsttätig einzustellen.

Im Zusammenhang mit der Steuerung eines Lüftspiel-Aktuators für eine Bremse eines Fahrzeugs der zuvor beschriebenen Art besteht Bedarf daran, ein verbessertes Verfahren zur Steuerung des Lüftspiel-Aktuators anzugeben, welches insbesondere für den Einsatz in zukünftigen Bremsanlagen vom Brake-by-Wire Typ, d.h. Bremsanlagen mit elektrischer Betätigungsenergie statt

Druckluft, geeignet ist und für eine intelligente Steuerung einer derartigen Bremsanlage sorgen kann.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist ein Lüftspiel-Management zur übergeordneten Steuerung von Teilfunktionen des Lüftspiel-Aktuators vorgesehen, wobei die Teilfunktionen wenigstens eine der Funktionen Variation des Kennlinienverlaufs der Eingangskraft über den Zuspannweg, Erkennung des maximal verfügbaren Lüftspiels und Auswahl einer Betriebsart der Bremse mit Hilfe des Lüftspiel-Aktuators aus einer Anzahl vorbestimmter Betriebsarten umfassen.

Dies hat den Vorteil, daß infolge einer übergeordneten Betrachtungsweise der möglichen Funktionen eines einstellbaren Lüftspiel-Aktuators ein intelligentes Lüftspiel-Management der Bremsanlage zu ermöglichen. Das Lüftspiel-Management kann vorteilhafterweise sowohl radbezogen, z. B. auf der Ebene eines Radbrems-Aktuators, als auch auf die gesamte Bremsanlage bezogen implementiert werden. Je nach Art der Implementation ergeben sich verschiedene weitere Vorteile, wie anhand der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen noch näher erläutert wird.

Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung der Ausführungsform eines elektrischen Bremsenaktuators, oder präziser zur Ermittlung einer Zuordnung zwischen der Bewegungsrichtung eines Elektroaktuators und der Bewegungsrichtung einer mecha-

nisch mit dem Elektroaktuator in Wirkverbindung stehenden Zuspanneinrichtung, welche Bestandteile eines elektrisch betätigbaren Bremsenaktuator für eine Fahrzeugbremse sind.

Ein derartiger elektrisch betätigbarer Bremsenaktuator ist beispielsweise aus der eingangs genannten WO 01/44677 A1 bekannt. In zukünftigen rein elektrisch gesteuerten und mit elektrischer Energie versorgten Bremssystemen vom sogenannten Brake-by-wire Typ werden jedem Rad eines Fahrzeugs, bzw. bei Nutzfahrzeugen jeder Radgruppe, jeweils ein Bremsenaktuator zugeordnet. So wird z. B. an der Vorderachse in der Regel ein Bremsenaktuator am linken Vorderrad und ein Bremsenaktuator am rechten Vorderrad angeordnet sein. Der Bremsenaktuator für die linke Fahrzeugseite wird z. B. aus Bauraum-Gründen hinsichtlich der mechanischen Ausführung der Zuspanneinrichtung spiegelbildlich im Vergleich zu dem auf der rechten Seite anzuordnenden Bremsenaktuator aufgebaut sein. Aus Gründen möglichst rationeller Herstellung der Bremsenaktuatoren ist es erwünscht, möglichst viele gleiche Teile für linke und rechte Bremsenaktuatoren zu verwenden, z. B. Teile einer Übertragungsmechanik (Getriebe), den Elektroaktuator (Elektromotor) und eine den Elektroaktuator ansteuernde elektronische Steuereinrichtung. Hierbei kann es je nach Ausführungsform des Bremsenaktuator erforderlich sein, daß ein bei dem linken Bremsenaktuator vorgesehener Elektroaktuator beispielsweise linksdrehend die Bremse zuspannt und rechtsdrehend wieder löst, während in dem

rechten Bremsenaktuator ein Elektroaktuator desselben Typs dann mit genau umgekehrter Drehrichtung arbeitet, d. h. rechtsdrehend die Bremse zuspannt und linksdrehend wieder löst.

Hiervon ausgehend besteht Bedarf daran, ein Verfahren zur Ermittlung einer Zuordnung zwischen der Bewegungsrichtung des Elektroaktuators und der Bewegungsrichtung einer mechanisch mit dem Elektroaktuator in Wirkverbindung stehenden Zuspanneinrichtung anzugeben, welches beispielsweise von der erwähnten elektronischen Steuereinrichtung ausführbar ist.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind zur Ermittlung der erwähnten Zuordnung folgende Schritte vorgesehen:

- a) Beaufschlagung des Elektroaktuators mit einem vorgegebenen Prüfzyklus, in welchem der Elektroaktuator in einer ersten Bewegungsrichtung bewegt wird,
- b) Überprüfung, ob durch die Betätigung des Elektroaktuators in der ersten Bewegungsrichtung die Zuspanneinrichtung eine Bewegung in Zuspannrichtung ausführt,
- c) Speicherung der Zuordnung zwischen der ersten Bewegungsrichtung des Elektroaktuators und der Zuspannrichtung, wenn die Zuspanneinrichtung eine Bewegung in Zuspannrichtung ausführt,

- d) Speicherung der Zuordnung zwischen einer zweiten Bewegungsrichtung des Elektroaktuators und der Zuspännrichtung, wenn die Zuspänneinrichtung keine Bewegung in Zuspännrichtung ausführt.

Diese Weiterbildung hat den Vorteil, mit geringem Aufwand in einer elektronischen Steuereinrichtung, welche in dem Bremsenaktor zur elektrischen Steuerung des Elektroaktuators ohnehin vorgesehen ist, mittels weniger Programmschritte realisiert werden zu können. Hierdurch ist es möglich, für den linken und den rechten Bremsenaktor gleich aufgebaute Steuereinrichtungen zu verwenden, welche dann z. B. bei erstmaliger Inbetriebnahme oder Installation der Bremsanlage in dem Fahrzeug selbständig eine Zuordnung der Bewegungsrichtungen ausführen.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist ein Prüfzyklus, mit dem der Elektroaktor zur Zuordnung der Bewegungsrichtungen beaufschlagt wird, derart bemessen, daß das Bremsenluftspiel durch eine eventuell ausgeführte Zuspännbewegung nicht überwunden werden kann, was in einer praktischen Realisierung z. B. durch eine zeitliche Begrenzung der Dauer des Prüfzyklus erreicht werden kann. Hierdurch kann bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ein eventuelles ungewolltes Ansprechen der Bremse vermieden werden. Ein weiterer Vorteil ist, daß das Verfahren auch während des Fahrbetriebes ausgeführt werden kann,

ohne daß irgendwelche negativen Auswirkungen infolge unerwünschten Einbremsens auftreten.

In bestimmten Fällen, z. B. beim Austausch von Teilen der Bremse im Rahmen einer Reparatur, kann der Prüfzyklus auch eine das Bremsenlüftspiel überschreitende Bewegung umfassen.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird das Zuordnungsverfahren automatisch ausgeführt, wenn keine der möglichen Zuordnungen bereits gespeichert ist. Dies hat den Vorteil, daß die Zuordnung nach erstmaliger Inbetriebnahme der Bremsanlage automatisch ermittelt wird und ein manueller Eingriff zur Auslösung des Zuordnungsverfahrens nicht erforderlich ist. Hierdurch können Arbeitszeit und Kosten bei der Herstellung von Bremsenaktuatoren und damit ausgerüsteten Fahrzeugen gespart werden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird zur Verifizierung der gespeicherten Zuordnung der Elektroaktor im Rahmen eines zweiten Prüfzyklus in der zweiten Bewegungsrichtung betätigt. Dabei wird beobachtet, welche Bewegung die Zuspanneinrichtung ausführt. Hierdurch wird eine größere Sicherheit bei der Erkennung der Zuordnung erreicht. Insbesondere wenn der zuerst ausgeführte Prüfzyklus bei völliger Lösestellung der Zuspanneinrichtung beginnt, kann eine Beaufschlagung des Elektroaktors in Löserichtung nicht mehr zu einem weiteren Lösen der Zuspannein-

richtung führen. Infolgedessen kann keine Bewegung der Zuspanneinrichtung beobachtet werden, und demzufolge kann nicht sicher unterschieden werden, ob die erste Bewegungsrichtung des Elektroaktuators mit der Löse- richtung korreliert, oder ob etwa der Elektroaktor defekt ist und er deswegen keine Bewegung der Zuspanneinrichtung auslöst. Durch den zweiten Prüfzyklus in der zweiten Bewegungsrichtung sollte bei einem nicht defekten Bremsenaktor eine Bewegung der Zuspanneinrichtung beobachtet werden können. Falls keine Bewegung beobachtet wird, kann eine Fehlererkennung und -anzeige erfolgen.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung beinhaltet der Prüfzyklus und/oder der zweite Prüfzyklus eine Begrenzung der Betätigungszeit und/oder des Betätigungsstroms des Elektroaktuators. Hierdurch können Beschädigungen an dem Elektroaktor, der Zuspanneinrichtung und anderen Bremsenteilen vermieden werden. Zudem wird das erfindungsgemäße Verfahren durch die Begrenzung der Betätigungszeit spätestens zu einem definierten, vorhersehbaren Zeitpunkt beendet und liefert dann eine Aussage über die Zuordnung oder gegebenenfalls einen Defekt an dem Elektroaktor oder anderen Teilen des Bremsenaktuators.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird die Überschreitung eines Stromgrenzwerts des Betätigungsstroms des Elektroaktuators als Indiz dafür verwendet, daß die Zuspanneinrichtung keine Bewegung in

Zuspannrichtung ausführt. Insbesondere in dem zuvor erwähnten Fall, daß sich die Zuspanneinrichtung bereits vollständig in der Lösestellung befindet, ist kein weiteres Lösen mehr möglich, so daß hierdurch der Elektroaktuator blockiert wird und infolgedessen eine höhere Stromaufnahme aufweist als im nicht blockierten Falle. Dies wird durch die vorgenannte Weiterbildung der Erfindung in vorteilhafter Weise erkannt, so daß eine relativ schnelle Abschaltung des Elektroactuators erfolgen kann und Beschädigungen vermieden werden können.

Unter Nennung weiterer Vorteile wird die Erfindung nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Verwendung von Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen

- Fig. 1 bis 9 verschiedene Prinzipien mechanischer Einrichtungen zur Abgabe einer Ausgangskraft in Prinzipdarstellungen und
- Fig. 10 eine Darstellung des Wirkprinzips der Zuspanneinrichtung und
- Fig. 11 bis 13 ein Ausführungsbeispiel für eine erste Ausführungsform einer elektromechanischen Bremse in verschiedenen Zuspanstellungen und

- Fig. 14 bis 16 ein Ausführungsbeispiel für eine zweite Ausführungsform einer elektromechanischen Bremse in verschiedenen Zuspännstellungen und
- Fig. 17 Beispiele für Kennlinien eines die Eingangskraft aufbringenden Motormoments über den Zuspännwinkel und
- Fig. 18 einen vorteilhaften Verlauf der von dem Krafterzeuger in den Hebel eingeleiteten Momentenanteils über den Zuspännwinkel und
- Fig. 19 bevorzugte Ausführungsformen der Kontur des Krafterzeugers und
- Fig. 20 bevorzugte Funktionsverläufe f_{Kontur} des Einwirkwinkels und
- Fig. 21 und 22 Kennlinien der Zuspännkraft-Anteile und des Motorstroms über den Hebelwinkel und
- Fig. 23 bis 24 ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens in Flußdiagramm-Darstellung und

Fig. 25 bis 29 Kennlinien der Eingangskraft über den Hebelwinkel bei Variation des Lüftspiels und

Fig. 30 ein Flußdiagramm eines vorteilhaften Verfahrens zur Variation des Kennlinienverlaufs der Eingangskraft über den Spannweg und

Fig. 31 ein Flußdiagramm eines weiteren vorteilhaften Verfahrens zur Variation des Kennlinienverlaufs der Eingangskraft über den Spannweg und

Fig. 32 ein Flußdiagramm eines vorteilhaften Verfahrens zur Erkennung des maximal verfügbaren Lüftspiels und

Fig. 33 ein Zustandsübergangsdiagramm von vorteilhaften Betriebsarten des Lüftspiel-Aktuators und

Fig. 34 Fig. 35 eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens in Flußdiagrammdarstellung.

In den Figuren werden gleiche Bezugszeichen für einander entsprechende Teile, Signale und andere Größen verwendet.

Eine mechanische Einrichtung zur Abgabe einer Ausgangskraft in Abhängigkeit von einer Eingangsgröße, insbesondere einer Eingangskraft, wird in der Technik bevorzugt mittels einer Hebelkonstruktion realisiert. Über die wirksamen Hebellängen kann ein erwünschtes Verhältnis zwischen der Eingangskraft und der Ausgangskraft eingestellt werden. Bekanntlich muß die Summenbilanz der an einem derartigen Hebel wirkenden Drehmomente den Wert Null ergeben, so daß die Ausgangskraft gleich der Eingangskraft ist, multipliziert mit dem Verhältnis aus der Hebelarmlänge, an der die Eingangskraft angreift, geteilt durch die Hebelarmlänge, an der die Ausgangskraft abgenommen wird. Da derartige Hebel in der Regel, wie auch in den Fig. 1 bis 9 dargestellt, an einem Drehpunkt aufgehängt und dort drehbar gelagert werden, werden die Hebellängen in der Regel in Bezug auf diesen Drehpunkt bestimmt.

Zur Variation der Ausgangskraft bestehen folgende Möglichkeiten, die ebenfalls eine erhebliche Reduzierung des Leistungs- und Energiebedarfs gegenüber direkt zu spannenden Einrichtungen erlauben:

1. Die Eingangskraft wird variiert. Für diese Art der Variation der Ausgangskraft ist ein Beispiel in Fig. 5 angegeben. Ein Hebel (1) ist an einem Drehpunkt (2) befestigt und dort drehbar aufgehängt. An einem Kraftabgabepunkt (3) gibt der Hebel (1) die Ausgangskraft an eine Kraftaufnahmeeinrichtung (4, 5) ab. Die Kraftaufnahmeeinrichtung (4, 5) ist in

der lediglich das Prinzip erläuternden, schematischen Darstellung der Fig. 1 bis 9 als eine Feder (4) und ein ortsfester Anschlag (5) dargestellt. An einem Kraftübertragungspunkt (6) wird die Eingangskraft, hier auch die Eingangsgröße bildend, in den Hebel (1) eingeleitet.

Die Eingangskraft wird hierbei von einem Krafterzeuger (7) über einen Kraftmodulations-Mechanismus (8) auf den Kraftübertragungspunkt (6) übertragen. Der Krafterzeuger ist in den Fig. 1 bis 9 vereinfachend als eine vorgespannte Feder dargestellt. Auch andere Ausführungsformen für den Krafterzeuger sind denkbar und vorteilhaft einsetzbar, wie nachfolgend noch erläutert.

Der Kraftmodulations-Mechanismus (8) dient zur Einstellung der von dem Krafterzeuger (7) auf den Kraftübertragungspunkt (6) übertragenen Eingangskraft. Hierfür sind in der Ausführungsform gemäß Fig. 5 zwei miteinander fest verbundene schräge Flächen vorgesehen, die horizontal beweglich ist. Die Flächen sind bezüglich ihrer Schräge entgegengesetzt zueinander angeordnet. Die eine Fläche stützt sich dabei an dem Kraftübertragungspunkt (6) an dem Hebel (1) ab, die andere Fläche stützt sich an einer ortsfest bezüglich des Krafterzeugers (7) angeordneten Rolle ab. Bei einer Verschiebung der Flächen wird die auf den Kraftübertragungspunkt (6) übertragene Kraft und somit auch die Ausgangskraft

proportional dazu erhöht, während sich zugleich die an die ortsfeste Rolle übertragene Kraft verringert. Die Längen der Hebelarme sind bei dieser Ausführungsform der mechanischen Einrichtung konstant.

2. Eine weitere Möglichkeit zur Beeinflussung der Ausgangskraft besteht in der Variation der Hebelarmlänge, wobei eine Variation des die Eingangskraft übertragenden Hebelarmes, des die Ausgangskraft übertragenden Hebelarmes oder auch beider Hebelarme denkbar ist. In den Fig. 1 bis 4 ist die Variation des die Eingangskraft übertragenden Hebelarmes dargestellt. Hierbei wird vorzugsweise die von dem Krafterzeuger (7) abgegebene Kraft über einen verstellbaren Mechanismus an einem nicht festliegenden und somit variablen Kraftübertragungspunkt (6) auf den Hebel (1) übertragen. Zu diesem Zweck ist an dem Hebel (1) eine bestimmte Kontur (10) vorgesehen, wobei jeder Punkt dieser Kontur (10) einen möglichen Kraftübertragungspunkt darstellt. An dieser Kontur (10) liegt eine von dem Krafterzeuger (7) unter Spannung gehaltene Translationseinrichtung (9) an, die vorzugsweise aus einer an der Kontur (10) entlang fahrbaren Rolle besteht. In der Ausführungsform der Fig. 1 ist die Translationseinrichtung (9) an einer in ihrem Winkel verstellbaren Stange (11) angebracht. Die Verstellung des Kraftübertragungspunkts (6) stellt bei den Ausführungsformen gemäß Fig. 1 bis 4 die Eingangsgröße dar. Bei den Ausführungsformen der Fig. 2 bis 4 sind je-

weils noch mechanische Hilfsmittel (12) zur Übertragung der Kraft des Krafterzeugers (7) auf den Hebel (1) vorgesehen.

3. Eine dritte Möglichkeit zur Variation der Ausgangskraft besteht schließlich in einer Variation des Kraftangriffswinkels der von dem Krafterzeuger (7) auf den Hebel (1) abgegebenen Kraft. Hierfür sind in den Fig. 6 bis 9 bevorzugte Ausführungsformen angegeben. Gemeinsam ist allen Ausführungsformen, daß der Krafteinwirkungspunkt (18) am Hebel (1) ortsfest wählbar sein kann, d.h. die wirksame Hebelarmlänge zwischen dem Krafteinwirkungspunkt (18) und dem Drehpunkt (2) ist konstant. Bei den nachfolgenden Ausführungsbeispielen ist der Krafteinwirkungspunkt (18) im Bereich des dem Drehpunkt (2) abgewandten Ende des Hebels (1) angeordnet.

Bei der Fig. 6 ist zwischen dem Krafterzeuger (7) und dem Hebel (1) ein Kraftübertragungsstück (13) sowie eine Translationseinrichtung (9) angeordnet. Der Krafterzeuger (7) wirkt an einem Kraftübertragungspunkt (6) auf die Translationseinrichtung (9) ein. Die Translationseinrichtung (9) wiederum wirkt an dem Krafteinwirkungspunkt (18), der gleichzeitig mechanischer Verbindungspunkt zwischen Hebel (1) und Translationseinrichtung (9) ist, auf den Hebel (1) ein.

Das Kraftübertragungsstück (13) weist auf seiner dem Hebel (1) zugewandten Seite eine Kontur (10) auf. Die

Kontur (10) kann verallgemeinert ausgedrückt auch als räumliche Bahnkurve eines daran entlag zu bewegenden Punkts angesehen werden, nämlich des Kraftübertragungspunkts (6). Die Kontur (10) ist dafür vorgesehen, daß auf ihr eine Translationseinrichtung (9) entlangbewegbar ist. Die Translationseinrichtung (9) ist in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung als eine an dem Hebel (1) fest angeordnete, drehbare Rolle ausgebildet, deren Drehpunkt der Krafteinwirkungspunkt (18) ist. Als weitere vorteilhafte Ausführungsart der Translationseinrichtung (9) kommt jede Art von Gleit- oder Wälzlager in Frage, so z.B. ein Gleitstein, ein Kulissenstein, eine Gleitschiene oder ein Kugellager, um nur einige Beispiele zu nennen.

Für eine Bewegung der Translationseinrichtung (9) auf der Kontur (10) ist der Hebel (1) um den Drehpunkt (2) zu verschwenken, wie durch den Doppelpfeil in den Fig. 6 bis 9 sinngemäß angedeutet. Bei der in der Fig. 6 dargestellten Position des Hebels (1) fluchtet dessen Längsachse, welche als Gerade durch den Krafteinwirkungspunkt (18) und den Drehpunkt (2) vorstellbar ist, mit der Kraftabgaberrichtung des Krafterzeugers (7). Bei einer Verstellung des Hebels (1) ausgehend von der zuvor definierten, einen Totpunkt darstellenden Nullage bewirkt der Krafterzeuger (7) eine Kraftabgabe an den Hebel (1), die infolge der Winkelabweichung zwischen der Kraftabgaberrichtung des Krafterzeugers (7) ein Drehmoment um den Drehpunkt (2) bewirkt. Infolge der Winkelabweichung entsteht somit ein „Virtueller Hebelarm“,

wie nachfolgend anhand der Fig. 10 noch näher beschrieben werden soll. Das Drehmoment wirkt bei geeigneter Auslegung der Kontur (10) in Verstellrichtung des Hebels (1), d.h. eine von außen auf den Hebel (1) einwirkende Eingangskraft zur dessen Verstellung wird durch einen von dem Krafterzeuger (7) abgegebenen Kraftanteil unterstützt.

Mit zunehmender Hebelverstellung ausgehend von dem Totpunkt greift auch der Krafterzeuger (7) in einem zunehmend schräger werdenden Winkel an dem Kraftübertragungspunkt (6) an, sodaß die Länge des virtuellen Hebelarms wächst und hierdurch der unterstützende Kraftanteil des Krafterzeugers (7) ebenfalls ansteigt. Durch geeignete Auslegung der Kontur (10) kann einerseits der Einsetzpunkt der unterstützenden Wirkung des Krafterzeugers (7) festgelegt werden, außerdem kann die Charakteristik der Kraftunterstützung über den Verstellwinkel des Hebels (1) dem jeweiligen Einsatzzweck angepaßt werden.

Bei der in der Fig. 7 dargestellten Ausführungsform ist das Kraftübertragungsstück (13) ebenfalls zwischen dem Krafterzeuger (7) und dem Krafteinwirkungspunkt (18) angeordnet, jedoch mit einer im Vergleich zu der Fig. 6 entgegengesetzten Kraftabgaberrichtung des Krafterzeugers (7). Die Kontur (10) ist ebenfalls auf der dem Krafteinwirkungspunkt (18) zugeordneten Seite des Kraftübertragungsstücks (13) angeordnet. Diese Ausführungs-

form ermöglicht eine besonders kompakte Bauweise der Zuspanneinrichtung.

Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 8 ist zwischen dem Kraftübertragungsstück (13) und dem Krafteinwirkungspunkt (18) ein Kraftübertragungsmodul (14) angeordnet. Das Kraftübertragungsmodul (14) ist auf seiner dem Hebel (1) zugewandten Seite gelenkig mit dem Hebel (1) am Krafteinwirkungspunkt (18) verbunden. Auf seiner dem Kraftübertragungsstück (13) zugewandten Seite ist an dem Kraftübertragungsmodul (14) die Translationseinrichtung (9) angebracht, die wiederum dazu dient, entlang der Kontur (10) bewegbar zu sein.

In einer weiteren Ausführungsform gemäß Fig. 9 ist der Krafterzeuger (7) zwischen dem Krafteinwirkungspunkt (18) und einem die Kontur (10) aufweisenden, ortsfest angeordneten Widerlager (15) angeordnet. Der Krafterzeuger (7) ist in diesem Fall auf seiner einen Seite gelenkig mit dem Hebel (1) an dem Krafteinwirkungspunkt (18) verbunden. Auf der anderen Seite des Krafterzeugers ist die Translationseinrichtung (9) angeordnet, die wiederum dazu dient, auf der Kontur (10) entlang bewegbar zu sein.

Anhand der Fig. 10 wird nachfolgend die prinzipielle Wirkungsweise der erfindungsgemäßen Zuspanneinrichtung näher erläutert, wobei von der Ausführungsform gemäß Fig. 6 ausgegangen wird. Die Erläuterungen gelten analog auch für die Ausführungsformen der Fig. 7 bis 9 so-

wie für die anhand der nachfolgenden Figuren noch zu erläuternden Ausgestaltungen der Erfindung.

Zur Erläuterung der prinzipiellen Wirkungsweise sind zunächst einige mathematische Größen festzulegen:

F_E	Eingangskraft
F_F	Anteil der Kraft der Feder auf den Hebel (1)
F_{Feder}	Gesamtkraft der Feder
s_{Feder}	Verschiebeweg des Kraftübertragungsstücks (13)
M_A	Moment am Hebel (1) um Drehpunkt (2)
Ω	Verschwenkwinkel des Hebels (1)
Ω_T	Totpunktswinkel
α	Einwirkwinkel
β	Winkelabweichung der Krafteinwirkung F_{Feder} von der Nullage des Verschwenkwinkels Ω
L_F	Hebelarmlänge vom Drehpunkt (2) zum Krafteinwirkungspunkt (18)
L_E	Hebelarmlänge vom Drehpunkt (2) zum Angriffspunkt der Eingangskraft (F_E)
L	Länge des virtuellen Hebelarms (21)

Das Kraftübertragungsstück (13) wird auf seiner dem Drehpunkt (2) abgewandten Seite mit der Kraft (F_{Feder}) des Krafterzeugers (7) beaufschlagt. Die Wirkungsrichtung der Kraft (F_{Feder}) sei im folgenden mit einer Abweichung um den Winkel (β) zu einer Parallelen zu der Längsachse des Hebels (1) in der Winkellage $\Omega = 0$ an-

genommen. Die Parallelen können auch übereinander liegen.

Ausgehend von einer angenommenen Winkellage $\Omega = \Omega_T$, in welcher die Kontur (10) senkrecht zur Wirkungsline der Kraft (F_{Feder}) verläuft, wird kein ein Drehmoment um den Drehpunkt (2) ausübender Krafteinfluß von dem Krafterzeuger (7) auf den Hebel (1) ausgeübt. Diese Stellung wird auch als Totpunktlage des Hebels (1) bezeichnet. Diese Stellung ist in der Fig. 10 durch das in gestrichelten Linien dargestellte Kraftübertragungsstück (13) angedeutet.

Bei einem Verschwenken des Hebels (1) von dem Wert $\Omega = \Omega_T$ zu größeren Werten hin bewegt sich die Translationseinrichtung (9) entlang der Kontur (10), wobei der Kraftübertragungspunkt (6) mit der Translationseinrichtung (9) wandert. Bei der in der Fig. 10 dargestellten Kontur (10) erfolgt außerdem eine Verschiebung des Kraftübertragungsstücks (13) in Richtung auf den Drehpunkt (2) um das Wegstück (s_{Feder}), parallel zur Wirkrichtung der Kraft (F_{Feder}) des Krafterzeugers (7). Das Kraftübertragungsstück (13) nimmt dann die mit durchgezogenen Linien dargestellte Position ein. Der Bewegungsverlauf der Translationseinrichtung (9) beim Verschwenken des Hebels (1) ist in der Fig. 10 mit einer gestrichelten Linie, die an der Translationseinrichtung (9) endet, angedeutet.

Bei diesem Verschwenken des Hebels (1) entspannt sich der Krafterzeuger (7), so daß sich die Kraft (F_{Feder}) mit zunehmendem Hebelwinkel (Ω) verringert. Mit einem Verschwenken des Hebels (1) um einen Winkel (Ω) nimmt außerdem der Einwirkwinkel (α), welcher bei einem Hebelwinkel $\Omega = \Omega_T$ zu $\alpha = 0$ definiert ist, zu. Unter dem Einwirkwinkel (α) wird ein Kraftanteil (F_F) der Kraft (F_{Feder}) des Krafterzeugers (7) auf den Hebel (1) übertragen.

Wie aus der Fig. 10 auch zu erkennen ist, stellt sich bei der dargestellten Hebelposition ein virtueller Hebelarm (21) mit der Länge (L) ein. Den virtuellen Hebelarm (21) stellt man sich senkrecht zu der Einwirkrichtung des von dem Krafterzeuger (7) auf den Hebel (1) abgegebenen Kraftanteils (F_F) vor, d.h. die Länge (L) des virtuellen Hebelarms (21) stellt die wirksame Hebelarmlänge für die Bestimmung des von dem Kraftanteil (F_F) beigesteuerten Moments um den Drehpunkt (2) dar. Zwischen dem Hebel (1) und dem virtuellen Hebelarm (21) bildet sich dabei ein Winkel von $90^\circ - \alpha - \Omega + \Omega_T$. Die Länge (L) des virtuellen Hebelarms (21) berechnet sich wie folgt:

$$L = L_F \cdot \sin(\alpha + \Omega - \Omega_T) \quad [1]$$

Für eine Steuerung des Verschwenkens des Hebels (1) greift an einem Kraftangriffspunkt (20) die Eingangskraft (F_E) an. Das von dem Hebel (1) insgesamt er-

zeugte, nutzbare Ausgangsmoment (M_A) setzt sich damit aus dem von der Eingangskraft (F_E) erzeugten Moment und dem von dem Kraftanteil (F_F) des Krafterzeugers (7) erzeugten Moment zusammen und kann wie folgt berechnet werden:

$$M_A = F_{\text{Feder}} \cdot L_F \cdot \frac{\sin(\alpha + \Omega - \Omega_T)}{\cos(\alpha + \beta)} + F_E \cdot L_E \quad [2]$$

Der Winkel (α) hängt von der jeweils gewählten Kontur (10) sowie vom Hebelwinkel (Ω) ab, ist somit ein Funktion von Ω .

$$\alpha = f_{\text{Kontur}}(\Omega) \quad [3]$$

Das Ausgangsmoment (M_A) kann damit bei bekannter Kontur bzw. bekannter Funktion f_{Kontur} und gegebenen Kräften F_E und F_{Feder} aus dem variablen Hebelwinkel (Ω) bestimmt werden.

Bei einem Verschwenken des Hebels (1) von dem Wert $\Omega = \Omega_T$ zu kleineren Werten hin wird bei der in der Fig. 10 dargestellten Kontur kein Moment von dem Krafterzeuger (7) auf den Hebel (1) ausgeübt, was durch eine kreisbogenförmige Ausbildung der Kontur (10) bewirkt wird. Der Verlauf des Kreisbogens entspricht im wesentlichen dem gestrichelt dargestellten Bewegungsverlauf der Translationseinrichtung (9) bei $\Omega < \Omega_T$.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform, bei der die Ausgangskraft über eine anhand der Fig. 6 bis 10 zuvor erläuterten Winkelveränderung vorgenommen wird, wird nun anhand der Fig. 11 bis 13 näher erläutert. In den Fig. 11 bis 13 ist jeweils die gleiche Ausführungsform dargestellt, jedoch in unterschiedlichen Zuspannstellungen. Des weiteren wird eine konkrete Anwendung als Zuspanneinrichtung für eine Radbremse an Fahrzeugen anhand der Fig. 11 bis 13 näher erläutert. Die unterschiedlichen Zuspannstellungen stellen dabei Fahrtstellung (nicht zugespannt), Teilbremsung und Vollbremsung dar.

Der in der Fig. 11 in Fahrtstellung dargestellte Bremsaktuator für eine Fahrzeugbremse weist eine Zuspanneinrichtung gemäß dem anhand der Fig. 6 bis 10 erläuterten Prinzip auf. Die Zuspanneinrichtung weist neben den bereits erläuterten Teilen (1, 2, 6, 7, 9, 10, 13, 18) einen an dem Hebel (1) an dem dem Drehpunkt (2) abgewandten Ende angeordneten Zahnkranzsektor (70) auf, welcher einer gekrümmten Zahnstange ähnlich ist. Der Zahnkranzsektor (70) steht mit einem Zahnrad (71) in Eingriff, welches an der Eingangsgrößen/Kraft-Umsetzungseinrichtung (72, 73, 74) angeordnet ist. Das Zahnrad (71) bewirkt bei einer Drehung ein Verschwenken des Hebels (1), d.h. eine Änderung der Winkellage (Ω) des Hebels (1).

Das Zahnrad (71) steht über ein Getriebe (72) mit einer Antriebseinheit (73), welche einen vorzugsweise als

Elektromotor ausgebildeten Antriebsmotor (74) aufweist, in Wirkverbindung. Die Antriebseinheit (73) enthält je nach Ausführungsform weitere Bauteile wie etwa elektrische Halbleiterbauelemente zur Ansteuerung des Elektromotors (74) oder elektrische Widerstände, z. B. zur Sensierung der Stromaufnahme des Elektromotors (74), enthalten kann. In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung weist die Antriebseinheit (73) noch eine Positions-Sensiereinrichtung für die Drehposition der Abtriebswelle des Elektromotors auf, z. B. eine Infrarot-Lichtschranke. Die Antriebseinheit (73) ist über Leitungen mit einem elektronischen Steuergerät (75) zum Austausch von Daten und Informationen sowie zur Energieversorgung verbunden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist der Elektromotor (74) als Schrittmotor ausgebildet, z.B. in Form eines geschalteten Reluktanzmotors. In diesem Fall kann die Positions-Sensiereinrichtung entfallen, da über die schrittweise Ansteuerung des Elektromotors (74) die Drehposition der Abtriebswelle dem Steuergerät (75) bekannt ist.

Die Kraftaufnahmeeinrichtung (4, 5) der in den Fig. 1 bis 9 dargestellten Einrichtungen ist in der Ausführungsform gemäß Fig. 11 bis 16 als eine Bremsscheibe (50) sowie zwei beidseitig der Bremsscheibe (50) angeordnete Bremsbeläge (40, 41, 42, 43), jeweils bestehend aus einem Verschleißbereich (40, 42) und einer Rückenplatte (41, 43), ausgebildet. Insbesondere der Ver-

schleißbereich (40, 42) ist mit einer bestimmten Elastizität versehen, während die Bremsscheibe (50) und die Rückenplatten (41, 43) vergleichsweise weniger elastisch sind.

Die Krafteinleitung in die Bremsscheibe (50) über die Bremsbeläge (40, 41, 42, 43) erfolgt über einen Stempel (31), welcher die Ausgangskraft (F_A) der Zuspammeinrichtung über eine Anlagefläche (30) flächig auf den ihm zugewandten Bremsbelag (40, 41) ausübt. Der auf der gegenüberliegenden Seite der Bremsscheibe (50) angeordnete Bremsbelag (42, 43) stützt sich entgegen der Ausgangskraft (F_A) an einem mit dem Gehäuse (60) der Zuspammeinrichtung verbundenen Gehäuseteil (61) ab.

In dem in der Fig. 11 dargestellten Zuspammzustand weist die Anlagefläche (30) einen bestimmten, vorgegebenen Abstand zu der Rückenplatte (41) des Bremsbelags (40, 41) auf. Dieser Abstand wird auch als Lüftspiel bezeichnet. In der Praxis stellt sich das Lüftspiel idealerweise gleichmäßig auf beiden Seiten der Bremsscheibe (50) ein. Zur einfacheren Erläuterung sind in den nachfolgenden Ausführungen sämtliche Lüftspiel-Abstände als ein einziges resultierendes Lüftspiel zwischen dem Stempel (31) und der Rückenplatte (41) dargestellt.

Der Stempel (31) ist über eine Öffnung der Wand (65) des Gehäuses (60) durchdringende Stange (32) mit einer Lüftspiel-Verstelleinrichtung (90, 91, 92, 93,

94, 95, 96, 97) verbunden, welche an ihrer Außenseite über ein Gewinde (96) drehbar mit einem Druckstück (33) verbunden ist. Das Druckstück (33) dient zur Übertragung der Ausgangskraft (F_A) auf den Stempel (31).

Der Hebel (1) ist an seinem im Bereich des Drehpunkts (2) befindlichen Ende mit einer Ausgangskraft-Erzeugungseinrichtung (80) verbunden, die bei einer Änderung der Winkellage (Ω) des Hebels (1) eine gewisse Wegänderung des Druckstücks (33) und damit auch des Stempels (31) bewirkt. Bei einer Vergrößerung des Winkels (Ω) von der in der Fig. 11 dargestellten Nulllage erfolgt beispielsweise eine Bewegung des Stempels (31) in Richtung auf die Rückenplatte (41) zu. Hierbei verringert sich zuerst das Lüftspiel, bis der Stempel (31) an der Rückenplatte (41) zur Anlage kommt. Bei einer weiteren Vergrößerung des Winkels (Ω) wird eine Bremskraft erzeugt.

Die Ausgangskraft-Erzeugungseinrichtung (80) kann beispielsweise als Exzenter ausgebildet sein. In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform ist zwischen der Einrichtung (80) und dem Druckstück (33) eine Evolventen-Kontur vorgesehen, mittels der eine im wesentlichen lineare Abhängigkeit des von dem Druckstück (33) zurückgelegten Wegs von dem Winkel (Ω) erzielt werden kann. Hierdurch wird ein besonders einfacher, analytischer Zusammenhang erzielt, was den Vorteil hat, daß in dem Steuergerät (75) ausgeführte Algorithmen zur Brems-

kraftregelung einfach gehalten werden können. Des weiteren ist der Verschleiß gegenüber andersartigen Konstruktionen geringer.

Die Ausgangskraft-Erzeugungseinrichtung (80) ist zwischen dem Druckstück (33) und einem Teil des Gehäuses (60) reibungsarm gelagert, beispielsweise durch ein Kugel- oder Rollenlager (81).

Der Krafterzeuger (7) weist in der Ausführungsform der Fig. 11 bis 13 eine unter Vorspannung stehende Feder (16) auf, die sich an einem Ende auf einer gehäusefesten Anlagefläche (66) in dem Gehäuse (60) abstützt. Das andere Ende der Feder (16) drückt gegen eine Halteplatte (17), die fest mit dem Kraftübertragungsstück (13) verbunden ist. Das Kraftübertragungsstück (13) seinerseits weist die bereits erwähnte Kontur (10) auf, über die die Vorspannkraft der Feder (16) über die Translationseinrichtung (9) auf den Hebel am Krafteinwirkungspunkt (18) einwirkt.

Wie aus der Fig. 11 auch erkennbar ist, weist die Kontur (10) einen Scheitelpunkt (19) auf, der im folgenden auch als Totpunkt bezeichnet werden soll. Ausgehend von der Nullage des Winkels (Ω) wird dieser Totpunkt (19) bei einem bestimmten Totpunktswinkel (Ω_T) erreicht. Bei Winkellagen, die kleiner als der Totpunktswinkel (Ω_T) sind, erfolgt bei Abschaltung oder Ausfall der von der Eingangsgrößen/Kraft-Umsetzeinrichtung (72, 73, 74) über das Zahnrad (71) auf den Hebel (1) ausgeübten

Kraft (F_E) eine selbsttätige Rückstellung des Hebels (1) in die Nullage ($\Omega = 0$), was von dem Krafterzeuger (7) ausgelöst wird.

Bei Überschreitung des Totpunktwinkels (Ω_T) erfolgt aufgrund der dann nach einer vorgegebenen Funktion zunächst schwach, dann stärker abfallenden Kontur (10) ein zunehmender, unterstützender Krafteinfluß des Krafterzeugers (7) in Spannrichtung. Durch den unterstützenden Krafteinfluß kann der Energiebedarf der Eingangsgrößen/Kraft-Umsetzeinrichtung (72, 73, 74) vergleichsweise gering gehalten werden. Durch entsprechende Auslegung der Kontur (10) ist es außerdem möglich, eine Rückstellung der Spanneinrichtung in die Nullage unter Ausnutzung der infolge der Elastizität in der Kraftaufnahmeeinrichtung (4, 5) bzw. der Bremse (40, 41, 42, 43, 50) gespeicherten Energie zu bewirken, sodaß eine selbstlösende Bremsencharakteristik in dem gesamten Spannungsbereich realisierbar ist.

Eine die Stange (32) umgebende Dichtung (34) schützt das Innere des Gehäuses (60) vor Verschmutzung und verhindert außerdem den Austritt von Schmiermitteln aus dem Gehäuse (60). Zur Rückstellung des Stempels (31) im Bereich des Lüftspiels, in dem von der Kraftaufnahmeeinrichtung (4, 5) bzw. der Bremse (40, 41, 42, 43, 50) keine Rückstellkraft mehr aufgebracht werden kann, bewirkt eine sich zwischen einer Wand (65) des Gehäuses (60) und dem Druckstück (33) abstützende Rückstellfeder

(35) eine Rückstellung des Stempels (31) in eine mittels des Hebels (1) vorgegebene Lage.

Das Gehäuse (60) ist mittels eines gehäusefesten Flansches (62) über eine Schraube (63) mit einem Befestigungspunkt (64) verbunden. Der Befestigungspunkt (64) ist Bestandteil eines mit einer zu bremsenden Fahrzeugachse achsfest verbundenen Bremsträgers bekannter Bauart, auf den nicht weiter eingegangen werden soll. Die dargestellte Befestigungsart ist stark vereinfacht angegeben. In der Praxis könnte man z.B. eine Bolzenführung mit beispielsweise zwei Bolzen anwenden.

Die in dem Gehäuse (60) räumlich neben der Ausgangskraft-Erzeugungseinrichtung (80) angeordnete Lüftspiel-Verstelleinrichtung (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) weist einen als Elektromotor ausgebildeten Verstellmotor (90) auf, der über Leitungen mit dem Steuergerät (75) verbunden ist. Über geeignete Ansteuersignale von dem Steuergerät (75) kann der Verstellmotor (90) um einen definierten Winkel in die eine oder die andere Richtung verstellt werden.

Der Verstellmotor (90) ist über ein Getriebe (91) mit einem Verstellmechanismus (92, 93, 94, 95, 96, 97) verbunden. Das Getriebe (91) bewirkt eine Verringerung der Drehzahl des Verstellmotors bei gleichzeitiger Drehmomenterhöhung. In dem Getriebe (91) ist ausgangsseitig eine Verstellwinkel-Erfassungseinrichtung angeordnet, deren Signale über die Leitungen an das Steuergerät

(75) abgegeben werden. Mittels der Signale der Verstellwinkel-Erfassungseinrichtung kann das Steuergerät (75) bei ihm bekannter Steigung des Gewindes (96) jederzeit den Verstellweg der Verstellspindel (95) und damit durch geeignete Algorithmen das eingestellte Lüftspiel erfassen. Als Verstellwinkel-Erfassungseinrichtung kann es in der Praxis auch vorteilhaft sein, einen in dem Verstellmotor (90) ohnehin vorhandenen Sensor zu verwenden, z.B. einen Encoder. In elektronisch kommutierten Motoren ist auch die Verwendung eines Resolver oder Kommutierungssensors vorteilhaft. Hierdurch kann auf einen gesonderten Sensor zur Verstellwinkel-Erfassung verzichtet werden.

Ausgangsseitig des Getriebes (91) ist eine Keilwelle (92) vorgesehen, welche über Keile (93) mit einer Verstellspindel (95) in Eingriff steht. Die Keile (93) sind dabei fest mit der Keilwelle (92) verbunden und laufen in einer innerhalb der Verstellspindel (95) angeordneten Nut (94). Über die Keile (93) und die Nut (94) kann eine Drehbewegung der Keilwelle (92), ausgelöst von dem Verstellmotor (90), auf die Verstellspindel (95) übertragen werden, die infolge eines an ihrer Außenseite angeordneten Gewindes (96), das seinerseits mit einem an dem Druckstück (33) angeordneten Innengewinde in Eingriff steht, eine Längsverschiebung der Verstellspindel (95) gegenüber der Keilwelle (92) bewirkt. Hierbei gleiten die Keile (93) in der Nut (94) entlang.

Infolge der Längsverschiebung der Verstellspindel (95) erfolgt über die fest mit der Verstellspindel (95) verbundenen Teile (31, 32) eine Verringerung bzw. Vergrößerung des Lüftspiels. Über einen fest mit der Verstellspindel (95) verbundenen Anschlagstutzen (97) wird die Rückstellbewegung der Verstellspindel (95) bei einer Vergrößerung des Lüftspiels mechanisch begrenzt, derart, daß die Verstellspindel (95) nur soweit eingefahren werden kann, bis der Anschlagstutzen (97) an einer Anlagefläche (36) des Druckstücks (33) zur Anlage kommt.

In der in der Fig. 12 dargestellten Stellung ($\Omega = \Omega_T$) des Hebels (1) erreicht der Kraftübertragungspunkt (6) gerade den Totpunkt der Kontur (10). In diesem Zustand bewirkt der Krafterzeuger (7) keine für eine Verstellung des Hebels (1) in der einen oder der anderen Richtung geeignete Kraftunterstützung. In dieser Stellung liegt gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung der Stempel (31) bereits an der Rückenplatte (41) des Bremsbelags (40, 41) an, d. h. das Lüftspiel ist in dieser Stellung stets überwunden. Die bis zu dieser Stellung erforderliche Zuspannkraft nach Überwindung des Lüftspiels wird vollständig von dem Elektromotor (74) aufgebracht.

In der in Fig. 13 dargestellten Stellung des Hebels (1) ist die Maximalauslenkung dargestellt, somit also die Bremse mit maximaler Zuspannkraft beaufschlagt. Der Kraftübertragungspunkt (6) befindet sich nun in einem

eine unterstützende Wirkung des Krafterzeugers (7) hervorruhenden Abschnitt der Kontur (10). Ein weitergehendes Verstellen des Hebels (1) würde den Kraftübertragungspunkt (6) in einen abgeflachten Konturabschnitt bringen, in welchem der Krafterzeuger (7), analog zu der Totpunktstellung, keine unterstützende Kraft mehr hervorrufen würde. In diesem Fall würde der Hebel (1) infolge der Rückstellkraft der elastisch vorgespannten Bremse (40, 41, 42, 43, 50) zurückbewegt werden, so daß sich durch die dargestellte Kontur ein stabiler Arbeitspunkt bei maximaler Bremsenzuspannung ergibt.

Die in den Fig. 14 bis 16 in verschiedenen Zuspannstellungen dargestellte Ausführungsform der Zuspanneinrichtung weist im Gegensatz zu der anhand der Fig. 11 bis 13 beschriebenen Zuspanneinrichtung eine geänderte Anordnung des Krafterzeugers auf, bei der die das Kraftübertragungsstück (13) tragende Halteplatte (17) in Richtung auf den Drehpunkt (2) weist. Die Funktionsweise entspricht der in den Fig. 11 bis 13 dargestellten Ausführungsform, nur mit spiegelbildlicher Anordnung des Krafterzeugers (7). Diese Art der Ausführungsform kann auch als Zuspanneinrichtung mit freier Feder (16) bezeichnet werden, während die Ausführungsform gemäß Fig. 11 bis 13 auch als Zuspanneinrichtung mit gefesselter Feder (16) bezeichnet werden kann.

Bei der erfindungsgemäßen Zuspanneinrichtung ist es vorteilhaft, die Konstruktion derart auszulegen, daß der Hebelwinkel (Ω) bei Erreichen der Lüftspielgrenze

($\Omega = \Omega_{LS}$) auch zugleich nahe an dem Totpunktswinkel (Ω_T) liegt. Hierdurch setzt der unterstützende Einfluß des Krafterzeugers (7) beim Zuspännvorgang dann ein, wenn die Bremsbeläge (40, 41, 42, 43) mit einer Bremskraft beaufschlagt werden und demzufolge ein ansteigender Bedarf an Zuspännenergie entsteht, der dann zu einem großen Teil aus dem in dem Krafterzeuger gespeicherten Energievorrat gedeckt werden kann. Für eine selbstlösende Bremsencharakteristik ist aber die Lüftspielgrenze ($\Omega = \Omega_{LS}$) stets kleiner zu wählen als der Totpunktswinkel (Ω_T).

In der Fig. 17 ist der Verlauf des von dem Elektromotor (74) in die Zuspänneinrichtung eingespeisten Drehmoments (M_M) jeweils beim Zuspännvorgang und bei der Rückstellung in die Fahrtstellung dargestellt. Der in durchgezogenen Linien dargestellte Kurvenverlauf (101, 102, 103, 104, 105, 113) ist für eine erste Einstellung des Lüftspiels (Ω_{LS1}) mittels der Lüftspiel-Verstell-einrichtung (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) angegeben. Der in gestrichelten Linien dargestellte Kurvenverlauf (106, 107, 108, 109, 110, 111, 112) ist für einen weiteren, im Vergleich zu dem zuvor genannten Kurvenverlauf vergrößerten Wert des Lüftspiels (Ω_{LS2}) dargestellt.

Ausgehend von der Fahrtstellung ($\Omega = \Omega_{min}$) des Hebels (1) wird der Hebel mit einem Anfangsmoment beaufschlagt, in dessen Folge er eine Bewegung in Zuspänn-

richtung ausführt. Hierbei, d. h. bis zum Erreichen des Anlegepunkts des Stempels (31) an den Bremsbelag (40, 41) bei $\Omega = \Omega_{LS1}$, ist das von dem Elektromotor (74) abgegebene Drehmoment (M_M) relativ gering. In diesem Bereich ist der abflachende Bereich der Kontur bis zu deren Totpunkt zu überwinden, wobei der Krafterzeuger (7) bereits eine Gegenkraft zu dem von dem Elektromotor abgegebenen Drehmoment bewirkt. Diese Gegenkraft nimmt mit zunehmendem Winkel (Ω) ab.

Ausgehend von dem Anfangswert (M_{min}) nimmt das Motormoment (M_M) gemäß dem Kurvenstück (100) zunächst leicht ab, um dann in dem Kurvenstück (101) einen steilen Anstieg zu erfahren, welcher sich bei Erreichen und Überschreiten des Totpunkt winkels (Ω_T) übergangslos in dem Kurvenstück (102) fortsetzt, um dann infolge zunehmender Unterstützungswirkung durch den Krafterzeuger (7) abzuflachen und leicht abzunehmen, bis der maximale Spannwinkel (Ω_{max}), der einer Vollbremsung entspricht, erreicht wird.

Beginnend mit dem Kurvenstück (103) wird die Bremse wieder gelöst, d. h. in Richtung Fahrtstellung verstellt. Wie anhand der Fig. 17 am Kurvenstück (103) erkennbar ist, muß das Motormoment (M_M) zunächst eine Hysterese überwinden, bis der Hebel (1) eine Bewegung in nennenswertem Umfang ausführt. In einem sich daran anschließenden, relativ flach verlaufenden Kurvenstück (113), von dem erwünscht ist, daß er im Bereich kleiner

Motormomente wie z.B. dem Anfangswert (M_{\min}) liegt, wird dann eine Rückstellung des Hebels (1) bewirkt. Hierbei steigt das Motormoment (M_M) im Bereich des Totpunkt winkels (Ω_T) wiederum an, um dann übergangslos in dem Kurvenstück (104) geringer zu werden und über die Kurvenstücke (105, 100) wiederum zu dem Anfangswert (M_{\min}) zurückzukehren.

Der Anstieg des Motormoments (M_M) im Bereich des Totpunkt winkels (Ω_T) wird durch eine von der maximalen Zu-
spannung aus stetig geringer werdende Bremsenhy-
stereuse bewirkt, wodurch sich der rückstellende Kraft-
einfluß vorgespannten Bremse leichter entfalten kann.
Um einen bestimmten Zuspännwinkel (Ω) zu halten, ist
daher in diesem Bereich ein erhöhtes Motormoment (M_M)
erforderlich.

Bei einem vergrößerten Lüftspiel (Ω_{LS2}) setzt der nach
Überschreitung der Kurvenstücke (100, 105) einsetzende
rapide Anstieg des Motormoments (M_M) gemäß Kurvenstück
(106) im Vergleich zu dem zuvor beschriebenen Fall spä-
ter ein. Die Kurvenstücke (101, 102) bei kleinerem
Lüftspiel einerseits und die Kurvenstücke (106, 107)
bei größerem Lüftspiel andererseits verlaufen im we-
sentlichen parallel zueinander, derart, daß bei vergröß-
ertem Lüftspiel die von dem Motor aufzubringenden Mo-
tormomente (M_M) bei gleichem Hebelwinkel (Ω) geringer
sind.

Auch im Rückstellzweig (108, 109, 110, 111, 112) sind die Motormomente (M_M) im Vergleich zu dem Fall mit kleinerem Lüftspiel geringer. Wie anhand der Fig. 17 außerdem erkennbar ist, unterschreitet das Motormoment (M_M) an der Stelle (109) den erwünschten Minimalwert (M_{min}) für das Motormoment (M_M) und verläuft im Kurvenstück (110) ebenfalls darunter.

Ein Verlauf des Motormoments (M_M) im Bereich negativer Werte ist nicht erwünscht, da sich dann eine selbstzuspannende Bremsencharakteristik ergeben würde. Die in der Fig. 17 dargestellten Verläufe stellen eine in der Praxis erwünschte selbstlösende Bremsencharakteristik dar. Die Bremsencharakteristik kann über die Wahl des Lüftspiels in gewissen Bereichen beeinflusst und einem gewünschten Verlauf angepaßt werden.

In der Fig. 18 ist der durch den Krafterzeuger (7) bzw. dessen Feder (16) auf den Bremshebel (1) ausgeübte, unterstützende Momentenanteil (M_F) dargestellt. Das anhand der Fig. 17 bereits beschriebene Motormoment (M_M) stellt in Summe mit dem vom Krafterzeuger ausgeübten Moment (M_F) das gesamte auf den Hebel (1) einwirkende und auf die Bremse abgebbare Ausgangsmoment (M_A) der Zuspanneinrichtung dar.

In einem Bereich (120), in welchem der Totpunkt noch nicht überwunden ist, weist das Moment (M_F) negative Werte auf, was einen rückstellenden Einfluß auf den Hebel (1) in Richtung der Nullage ($\Omega = 0$) hat. In diesem

Bereich arbeitet der Kraftherzeuger (7) entgegen dem Motormoment (M_M), was zur Folge hat, daß der Elektromotor (74) auch im Bereich des Lüftspiel ein bestimmtes Moment zum Bewegen des Hebels (1) in Spannrichtung erbringen muß. Bei Erreichen des Totpunktwinkels (Ω_T) setzt dann der unterstützende Kraft- bzw. Momenteneinfluß des Kraftherzeugers (7) gemäß dem Kurvenverlauf (121) ein, d.h. der Elektromotor (74) wird beim Spannen entlastet.

Der Kurvenverlauf (121) stellt eine erwünschte Sollfunktion dar, die anhand von typischen Bremsenauslegungen ermittelt werden kann. Hierfür ist es z.B. denkbar, eine Vielzahl von Einzelbremsen hinsichtlich ihrer Spanncharakteristik, d.h. des Momentenbedarfs für die Spannung gemessen über den Hebelwinkel (Ω), experimentell auszuwerten. Es ist vorteilhaft, die Sollfunktion dann als eine Ausgleichfunktion zu bestimmen, die unterhalb aller experimentell ermittelten Spanncharakteristiken liegt und diese tangiert. Der Vorteil hierbei ist, daß eine selbstlösende Bremsencharakteristik sichergestellt werden kann, da in jeder Hebelstellung (Ω) von dem geringsten Spann-Momentenbedarf aller untersuchten Bremsen ausgegangen wird.

Die Sollfunktion wird vorzugsweise z.B. mittels Ausgleichsrechnung oder Interpolation bestimmt. Der Kurvenverlauf (121) steht in direktem Zusammenhang mit der Kontur (10). Die Kontur (10) kann anhand des Kurvenver-

laufs (121), d.h. der Sollfunktion, z.B. mittels eines numerischen Iterationsverfahrens bestimmt werden.

Anhand der Fig. 19 und 20 werden bevorzugte Ausführungsformen der Kontur (10) sowie der zugehörigen Funktion f_{Kontur} des Einwirkwinkel (α) in Abhängigkeit des Hebelwinkels (Ω) erläutert.

Ein bevorzugter Verlauf der Kontur (10), wie auch schon in den Fig. 11 bis 13 angedeutet, ist in der Fig. 19 durch die Kurvenstücke (122, 123) dargestellt. Der räumliche Verlauf der Kontur (10) hinsichtlich der Ordinate (h) beginnt vom Anfang der Kontur ($x = 0$) zunächst flach ansteigend mit einer geringen konvexen Krümmung und geht ab dem Totpunkt (x_T), welcher bei dem Hebelwinkel (Ω_T) erreicht wird, in einen zunächst gering, dann schneller abfallenden Bereich mit stärker konvex gekrümmtem Verlauf über. Bei dem Wert (x_{max}) wird dann der Maximalwert (Ω_{max}) für die Verstellung des Hebels (1) in Spannrichtung erreicht. Von dieser Stellung an ist keine weitere Verstellung des Hebels (1) erwünscht. Die Kontur (10) wird jedoch ein Stück weiter geführt bis zu dem Wert (x_k), von dem an die Kontur (10) im wesentlichen gerade verläuft. Die Weiterführung der Kontur (10) ist aufgrund der Abmessungen der Translationseinrichtung (9) erforderlich, damit diese nicht vor Erreichen des Winkels (Ω_{max}) an dem gerade verlaufenden Bereich der Kontur ($x > x_k$) anstößt. Durch den gerade verlaufenden Bereich der Kontur ergibt sich au-

ßerdem ein stabiler Endpunkt bei der Verstellung des Hebels (1).

Die aus den Kurvenstücken (122, 123) zusammengesetzte Kontur wird vorzugsweise bei einer Zuspanneinrichtung für Bremsen an Nutzfahrzeugen eingesetzt. Alternativ zu dem Kurvenstück (122) kann auch eine Kontur gemäß Kurvenstück (125) in dem Bereich $x < x_T$ verwendet werden. Auch alle dazwischenliegenden Konturen sind vorteilhaft anwendbar. Das Kurvenstück (125) verläuft beispielsweise im wesentlichen auf einer Kreiskontur, welche der Bahnkurve der Translationseinrichtung (9) in diesem Bereich entspricht. Hierdurch wird ein Momenteneinfluß des Krafterzeugers (7) auf den Hebel (1) im Bereich $x < x_T$ vermieden.

Als Alternative zu dem Kurvenstück (123) kann in dem Bereich $x > x_T$ eine Kontur gemäß Kurvenstück (124) angewandt werden. Diese hat im Vergleich zu dem Kurvenstück (123) einen zunächst steileren Abfall der Kontur bei insgesamt verringerter konvexer Wölbung zum Gegenstand. Eine Kontur gemäß Kurvenstück (124) ist vorteilhaft bei einer Zuspanneinrichtung einsetzbar, bei der im Bereich geringer Bremswirkungen, z. B. bei Teilbremsungen ein besonders schnelles Zuspinnen und auch Lösen der Bremse erwünscht ist, z. B. bei Pkw-Bremsanlagen.

Alle in der Fig. 19 dargestellten aus den Kurvenstücken (122, 123, 124, 125) zusammensetzbaren Konturverläufe

sind je nach Anwendungsfall nach Auswahl des Fachmanns vorteilhaft einsetzbar.

In der Fig. 20 sind die den in der Fig. 19 dargestellten Kurvenstücken entsprechenden Kurvenstücke in der Darstellung ($\alpha = f_{\text{kontur}}(\Omega)$) angegeben. Hierbei korreliert Kurvenstück (126) mit Kurvenstück (122), (127) mit (123), (128) mit (125) und (129) mit (124).

Aus der Fig. 20 ist einerseits erkennbar, daß der Hebelwinkel (Ω) auf den Wert (Ω_{max}) begrenzt ist. Bei diesem Wert stellt sich dann ein Einwirkwinkel $\alpha = \alpha_{\text{max}}$ ein. Das Kurvenstück (128) verläuft dabei im wesentlichen auf der Nulllinie der Abszissenachse.

Es versteht sich, daß statt der Elektromotoren (74, 90) auch jede andere Art von Aktuatoren eingesetzt werden kann, sowohl elektrischer als auch hydraulischer oder pneumatischer Art.

In der Fig. 21 ist beispielhaft der anhand der Fig. 17 bereits in der Darstellung als Drehmoment (M_M) erläuterte Verlauf (100, 101, 102, 103, 104) des von dem Elektromotor (74) in die Zuspanneinrichtung eingespeisten ersten Zuspannkraft-Anteils (F_{Mot}) dargestellt. Weiterhin ist in der Fig. 21 beispielhaft der anhand der Fig. 18 bereits in der Darstellung als Drehmoment (M_F) erläuterte Verlauf (120, 121) des von dem Kraftezeuger (7) abgegebenen unterstützenden Zuspannkraft-Anteils (F_{Fe}) über den Hebelwinkel (Ω) dargestellt. Die

zwischen dem Zuspinnen und dem Lösen der Bremse auftretende Hysterese, welche zum vorwiegenden Teil aus der bekannten Bremsenhysterese resultiert, ist in der Darstellung gemäß Fig. 21 in der Kraftverlaufskurve (100, 101, 102, 103, 104) für den ersten Zuspinnkraft-Anteil (F_{Mot}) zusammengefaßt, d. h. auch alle übrigen Hystereseanteile, z. B. von dem Krafterzeuger, sind zur Vereinfachung der Darstellung in dieser einen Kurve zusammengefaßt.

Ausgehend von der Fahrtstellung ($\Omega = \Omega_{\text{min}}$) des Hebels (1) wird dieser mit einer Anfangskraft beaufschlagt, in dessen Folge er eine Bewegung in Zuspinnrichtung ausführt. Hierbei, d. h. bis zum Erreichen des Anlegepunkts des Stempels (31) an den Bremsbelag (40, 41) bei $\Omega = \Omega_{\text{LS}}$, ist der erste Zuspinnkraft-Anteil (F_{Mot}) relativ gering. In diesem Bereich ist der abflachende Bereich der Kontur (10) bis zu deren Totpunkt zu überwinden, wobei der Krafterzeuger (7) eine Gegenkraft (F_{Fe}) zu dem von dem Elektromotor (74) abgegebenen ersten Zuspinnkraft-Anteil (F_{Mot}) bewirkt. Diese Gegenkraft gemäß Kurvenstück (120) nimmt mit zunehmendem Winkel (Ω) ab.

Ausgehend von dem Anfangswert (F_{Motmin}) nimmt der erste Zuspinnkraft-Anteil (F_{Mot}) gemäß Kurvenstück (100) zunächst leicht ab, um dann in dem Kurvenstück (101) einen steilen Anstieg zu erfahren, welcher sich bei Erreichen und Überschreiten des Totpunkt winkels (Ω_{T}) übergangslos in dem Kurvenstück (102) fortsetzt, um

dann infolge zunehmender Unterstützungswirkung durch den Krafterzeuger (7) abzuflachen und leicht abzunehmen, bis der maximale Zuspannwinkel (Ω_{Max}), der einer Vollbremsung entspricht, erreicht wird. In dem Winkelbereich oberhalb des Totpunkt winkels (Ω_{T}) nimmt der unterstützende Zuspannkraft-Anteil (F_{Fe}) des Krafterzeugers (7) gemäß Kurvenstück (121) zu, wobei der Verlauf des Kurvenstücks (121) gemäß einer angestrebten Auslengekennlinie für die Zuspanneinrichtung ausgewählt ist. Die gesamte Zuspannkraft ergibt sich, wie bereits erwähnt, aus der Summe des ersten Zuspannkraft-Anteils und des unterstützenden Zuspannkraft-Anteils, was gemäß der Darstellung der Fig. 21 durch eine Addition der einzelnen Kurvenverläufe möglich ist.

Beginnend mit dem Kurvenstück (103) wird die Bremse wieder gelöst, d. h. in Richtung Fahrtstellung ver stellt. Wie anhand der Fig. 21 am Kurvenstück (103) er kennbar ist, muß der erste Zuspannkraft-Anteil (F_{Mot}) zunächst eine Hysterese überwinden, bis der Hebel (1) eine Bewegung in nennenswertem Umfang ausführt. In ei nem sich daran anschließenden, relativ flach verlaufen den Kurvenstück, von dem erwünscht ist, daß es im Be reich kleiner Elektromotor-Kräfte wie z. B. dem An fangswert (F_{Motmin}) liegt, wird dann eine Rückstellung des Hebels (1) bewirkt. Hierbei steigt der erste Zu spannkraft-Anteil (F_{Mot}) im Bereich des Totpunkt winkels (Ω_{T}) wiederum an, um dann übergangslos in dem Kurven stück (104) geringer zu werden und über den Kurvenstück

(100) wiederum zu dem Anfangswert (F_{Motmin}) zurückzukehren.

In der Fig. 22 ist der zu dem anhand der Fig. 21 beschriebenen Zuspänn- und Rückstellvorgang der Bremse analoge Verlauf des von dem Elektromotor (74) aufgenommenen Stroms (I_{Mot}) über den Hebelwinkel (Ω) dargestellt. Der Strom (I_{Mot}) stellt hierbei keinen Augenblickswert dar, sondern wird durch eine geeignete zeitliche Mittelung bzw. eine Filterung aus dem zeitlichen Stromverlauf gewonnen.

Die Art der Filterung bzw. der Aufbereitung des Stromsignals hängt dabei von der Art des verwendeten Elektromotors ab. Bei einem einfachen Gleichstrom-Kollektormotor wird in der Regel keine aufwendige Filterung erforderlich sein, sondern es kann im wesentlichen der unmittelbar gemessene Stromwert für die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahren verwendet werden. Bei mit Wechsignalen betriebenen Elektromotoren, wie z. B. Drehstrommotoren, geschalteten Reluktanzmotoren oder anderen nach dem Schrittmotorprinzip arbeitenden Motoren, wird in der Regel eine zeitliche Mittelwertbildung des Stromsignals und/oder eine Filterung erforderlich sein, um einen aussagefähigen Wert für den aufgenommenen Strom (I_{Mot}) zu erhalten.

Die in der Fig. 22 dargestellte Stromverlaufskurve (140) entspricht von ihrem prinzipiellen Verlauf her näherungsweise dem Verlauf des ersten Zuspännkraft-An-

teils (F_{Mot}), so daß bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel näherungsweise von einer Proportionalität der Größen (F_{Mot} , I_{Mot}) ausgegangen werden kann. Bei der Stromverlaufskurve (140) liegt daher auch die bereits erläuterte Hysterese vor.

Die Stromverlaufskurve (140) stellt den Verlauf des Stroms (I_{Mot}) bei einer vollständigen Zuspännbewegung und einer anschließenden Rückstellbewegung der Bremse dar. Hierbei sind Massenträgheits-Einflüsse vernachlässigt worden. Bei einer geringeren Zuspännbewegung, z.B. bis zum Totpunktwinkel (Ω_T), würde der Kurvenverlauf des aufgenommenen Stroms (I_{Mot}) dem Kurvenverlauf (140) bis zu dem Wert ($\Omega = \Omega_T$) entsprechen, wobei die Hysterese dann auch an diesem Umkehrpunkt ($\Omega = \Omega_T$) der Zuspännbewegung wirksam wäre, wie durch das Kurvenstück (141) dargestellt. Analoge Kurvenverläufe bzw. Kurvenstücke ergeben sich bei jedem anderen einstellbaren Wert des Hebelwinkels (Ω). Wie aus der Fig. 22 außerdem erkennbar ist, führt eine Verringerung des Stroms (I_{Mot}) auch im Hysteresebereich bereits zu einer geringfügigen Veränderung (Ω_H) des Hebelwinkels (Ω) in Rückstellrichtung. Dieser Veränderung (Ω_H), nachfolgend als Löseschwenkwinkel bezeichnet, wird im nachfolgend beschriebenen Verfahren Rechnung getragen.

Anhand der Fig. 23 und 24 soll eine bevorzugte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Einstellung einer Zuspännkraft erläutert werden. Das Verfahren

gemäß Fig. 23 und 24 wird in der Steuereinrichtung (75) zyklisch ausgeführt, z. B. jeweils nach 10 Millisekunden.

Das Verfahren beginnt in der Fig. 23 mit einem Block (160). In einem darauffolgenden Datentransferblock (161) wird eine Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) für die Zuspännkraft eingelesen. Diese Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) kann beispielsweise von dem Fahrer über einen mit einem Bremspedal verbundenen Bremswertgeber vorgegeben werden. Vorteilhafter ist jedoch die Festlegung der Sollwert-Vorgabe der einzelnen Radbremsen über ein übergeordnetes Bremsen-Management, welches die Sollwert-Vorgabe beispielsweise unter Berücksichtigung einer erwünschten Bremskraftverteilung zwischen den Fahrzeugachsen und Fahrzeugseiten sowie unter Berücksichtigung von Aspekten des Verschleißes und der Fahrdynamik und gegebenenfalls weiteren Einflußgrößen bestimmt.

In einem darauffolgenden Verzweigungsblock (162) wird geprüft, ob die Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) einen Maximalwert (F_{GMax}) unterschreitet. Falls dieser Maximalwert (F_{GMax}) erreicht oder überschritten wird, wird eine Vollbremsung angefordert, für die besondere Verfahrensschritte, wie nachfolgend noch näher erläutert, eingeleitet werden. Zunächst soll der Fall betrachtet werden, daß der Maximalwert (F_{GMax}) nicht erreicht wird und somit also keine Vollbremsung vorliegt. In diesem Fall wird zu dem Zuweisungsblock (163) verzweigt, wo ein zu der Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) korrespondierender Soll-

wert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) aus einer in dem Steuergerät (75) gespeicherten Zuordnungskennlinie ($\Omega_{\text{Soll}} = f(F_{\text{Soll}})$) bestimmt wird.

Anhand der nachfolgenden Verfahrensschritte wird die Einstellung des Hebels (1) auf den Sollwert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) erläutert. Hierzu sind zwei weitere Größen zu berücksichtigen, nämlich erstens der zulässige Löse-schwenkwinkel (Ω_{H}) des Hebels (1) zur Reduzierung des von dem Elektromotor (74) aufgenommenen Stroms (I_{Mot}) und zweitens eine zulässige Toleranz (Ω_{Tol}) für die Einstellung des Hebelwinkels (Ω). Unter dem Löse-schwenkwinkel (Ω_{H}) wird diejenige Veränderung des Hebelwinkels (Ω) verstanden, die bei einer Verringerung des von dem Elektromotor (74) aufgenommenen Stroms (I_{Mot}) zwecks Stromersparnis und Verminderung unnötiger Erwärmung des Elektromotors und des Steuergeräts (75) unter Ausnutzung anhand der Fig. 21 und 22 erläuterten Hystereseeigenschaften auftritt. Wie bereits erläutert, führt eine Verringerung des Motorstroms (I_{Mot}) nach Erreichen eines erwünschten Arbeitspunkts zu einer relativ geringen Verringerung des Hebelwinkels (Ω) und damit einer geringen Abweichung von dem Arbeitspunkt. Diese Abweichung wird bei dem vorliegenden Ausführungsbeispiel in vorteilhafter Weise berücksichtigt, um so die Stellgenauigkeit der Zuspanneinrichtung weiter zu optimieren.

Die zulässige Toleranz (Ω_{Tol}) stellt eine Art Inkrement für eine Verstellung des Hebels (1) dar. Mit einer Schrittweite dieser Größe wird eine Verstellung des Hebels (1) vorgenommen, bis der Istwert (F_{Ist}) der Zuspannkraft der Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) im wesentlichen entspricht.

In einem Verzweigungsblock (164) wird geprüft, ob der Sollwert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) einen in der Praxis realisierbaren Minimalwert, der sich aus dem zweifachen Wert des Löseschwenkwinkels (Ω_H) und der zulässigen Toleranz (Ω_{Tol}) zusammensetzt, überschritten wird. Wenn dieser Wert nicht überschritten wird, wird zu einem Ausgabeblock (180) verzweigt, in welchem der Hebel (1) in seine Nullage gestellt wird, d. h. es wird $\Omega_{Soll} = 0$ eingestellt. Zusätzlich wird in einem darauffolgenden Ausgabeblock (181) die Bestromung des Elektromotors (74) beendet, d. h. es wird ein Stromwert $I_{Mot} = 0$ eingestellt. Dies dient einerseits der Stromersparnis, andererseits einer Schonung und Verminderung der Erwärmung des Elektromotors (74) und des Steuergeräts (75). Infolge der selbstlösenden Charakteristik der Zuspandeinrichtung wird die Bremse in die Fahrtstellung gestellt und dort gehalten.

Das Verfahren gemäß Fig. 23 endet dann mit einem Schritt (182).

Falls in dem Verzweigungsblock (164) der Sollwert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) den Minimalwert überschreitet, wird zu einem Verzweigungsblock (165) verzweigt. Dort sowie in dem nachfolgenden Verzweigungsblock (166) wird geprüft, ob der Sollwert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) innerhalb eines Intervalls ($\Omega_{\text{Ist}} + \Omega_{\text{H}} - \Omega_{\text{Tol}}$, $\Omega_{\text{Ist}} + \Omega_{\text{H}} + \Omega_{\text{Tol}}$) im Bereich des von Sensoren erfaßten Istwerts des Hebelwinkels (Ω_{Ist}) liegt. Mit anderen Worten gesagt wird also geprüft, ob der um den Löseschwenkwinkel (Ω_{H}) additiv korrigierte Sollwert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) um einen kleineren Wert als die negative Toleranz ($-\Omega_{\text{Tol}}$) in Löserichtung von dem Istwert des Hebelwinkels (Ω_{Ist}) abweicht, und ob der um den Löseschwenkwinkel (Ω_{H}) additiv korrigierte Sollwert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) um einen kleineren Wert als die positive Toleranz ($+\Omega_{\text{Tol}}$) in Spannrichtung von dem Istwert des Hebelwinkels (Ω_{Ist}) abweicht. Falls dies der Fall ist, besteht kein Verstellbedarf für den Hebel (1), so daß zu dem in der Fig. 24 dargestellten Datentransferblock (175) verzweigt wird.

Falls jedoch der Sollwert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) außerhalb des vorgenannten Intervalls um den Istwert des Hebelwinkels (Ω_{Ist}) liegt, besteht Verstellbedarf, und es wird zu dem Ausgabeblock (167) verzweigt. In dem Ausgabeblock (167) wird von dem Steuergerät (75) der Sollwert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) an dem Hebel (1) eingestellt, indem das Steuergerät (75) entsprechende Signale an den Elektromotor (74) abgibt, bis der Istwert (Ω_{Ist}) des

Hebelwinkels den Sollwert (Ω_{Soll}) erreicht. Der Istwert (Ω_{Ist}) des Hebelwinkels wird dabei permanent von einer vorzugsweise in dem Elektromotor (74) angeordneten Sensiereinrichtung erfaßt. Die Sensiereinrichtung kann z. B. eine Lichtschranke sein, die die Drehung des Elektromotors erfaßt.

Nachfolgend wird in einem Datentransferblock (168) die Stromaufnahme (I_{Mot}) des Elektromotors (74) erfaßt und hieraus in einem Zuweisungsblock (170) unter Zuhilfenahme einer in dem Steuergerät (75) gespeicherten Kennlinie ($F_{\text{Mot}} = f(I_{\text{Mot}})$) der von dem Elektromotor (74) zur Zuspännkraftherzeugung beigesteuerte Anteil als erster Zuspännkraft-Anteil (F_{Mot}) bestimmt. In einem Zuweisungsblock (169) wird unter Verwendung einer weiteren, in dem Steuergerät (75) gespeicherten Kennlinie ($F_{\text{Fe}} = f(\Omega_{\text{Soll}})$) der von dem Kraftherzeuger (7) zur Zuspännkraft beigesteuerte Anteil als unterstützender Zuspännkraft-Anteil (F_{Fe}) bestimmt. Aus diesen beiden Anteilen wird in einem Zuweisungsblock (171) durch Addition der Istwert (F_{Ist}) der Zuspännkraft bestimmt.

Nachfolgend wird in den Blöcken (172, 173, 183, 184) eine Nachregelung des zuvor bestimmten Istwerts (F_{Ist}) der Zuspännkraft auf die Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) angegeben. Da die Einstellung des im Block (163) bestimmten Sollwert-Hebelwinkels (Ω_{Soll}) infolge von Temperatureinflüssen, Verschleiß der Bremsbeläge oder Luftfeuchtigkeit nicht in jedem Fall gezielt zu einer präzisen Ein-

stellung des Istwerts (F_{Ist}) der Zuspnnkraft auf die Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) ermöglicht, wird durch diese Nachregelung eine weitere Optimierung bei der Einstellung der Zuspnnkraft erzielt.

Anhand der Verzweigungsblöcke (172, 173) wird zunächst geprüft, ob die eine Art Regelabweichung darstellende Differenz zwischen dem Istwert (F_{Ist}) der Zuspnnkraft und der Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) betragsmäßig kleiner als ein Zuspnnkraft-Toleranzwert (F_{Tol}) ist. Der Zuspnnkraft-Toleranzwert (F_{Tol}) korrespondiert mit dem zuvor bereits erläuterten zulässigen Toleranzwert (Ω_{Tol}) bezogen auf den Hebelwinkel (Ω). Der Zuspnnkraft-Toleranzwert (F_{Tol}) ist in dem Steuergerät (75) fest abgespeichert. Er kann beispielsweise anhand der im Zusammenhang mit dem Block (163) beschriebenen Zuordnungskennlinie ($\Omega_{Soll} = f(F_{Soll})$) bestimmt werden.

Bei einer Unterschreitung der unteren Intervallgrenze ($-F_{Tol}$), festgestellt in dem Block (172), wird zu dem Zuweisungsblock (183) verzweigt, wo der einzustellende Sollwert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) um eine Inkrement, nämlich den Toleranzwert (Ω_{Tol}), vergrößert wird. Sodann erfolgt nach Art einer Programmschleife ein erneuter Durchlauf der Blöcke (167, 168, 169, 170, 171), d. h. es wird der neu bestimmte Sollwert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) eingestellt, der Istwert der Zuspnnkraft (F_{Ist}) bestimmt und dieser sodann wiederum in den Blöcken (172,

173) auf Einhaltung des Intervallbereichs $(-F_T, F_T)$ um die Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) überprüft.

Bei Feststellung einer Überschreitung der oberen Intervallgrenze (F_T) , festgestellt in dem Block (173), wird zu einem Zuweisungsblock (184) verzweigt, in welchem in analoger Weise zu dem Block (183) der Sollwert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) um ein Inkrement (Ω_{Tol}) verringert wird. Sodann werden nach Art einer Programmschleife wiederum die Blöcke (167, 168, 169, 170, 171) durchlaufen, gefolgt von einer erneuten Überprüfung der Regelabweichung zwischen dem Istwert (F_{Ist}) der Zuspannkraft und der Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) . Sofern diese Regelabweichung im zulässigen Intervall $(-F_T, F_T)$ liegt, wird zu dem in der Fig. 24 dargestellten Ausgabeblock (174) verzweigt.

In dem Ausgabeblock (174) wird der zuvor eingestellte Sollwert-Hebelwinkel (Ω_{Soll}) um den Löseschwenkwinkel (Ω_H) wiederum reduziert, d. h. der Hebel (1) wird ein Stück der Größe (Ω_H) zurückgestellt, was mit einer deutlichen Verringerung der Stromaufnahme (I_{Mot}) des Elektromotors (74) einhergeht, wie auch aus Fig. 22 ersichtlich ist.

In einem darauffolgenden Datentransferblock (175) wird erneut der von dem Elektromotor (74) aufgenommene Strom (I_{Mot}) eingelesen. In einem Verzweigungsblock (176) wird dieser Stromwert (I_{Mot}) mit einem zulässigen Grenzwert

(I_{Motzul}) verglichen. Zusätzlich wird in einem darauffolgenden Verzweigungsblock (177) die bis dahin vorliegende Dauer (t_B) der Bremsung, welche von dem Steuergerät (75) automatisch mitgerechnet wird, mit einem zugehörigen Grenzwert (t_{Bzul}) verglichen. Wenn in den beiden Fällen der Blöcke (176, 177) eine Überschreitung der jeweiligen Grenzwerte festgestellt wird, so werden Schutzmaßnahmen für den Elektromotor (74) eingeleitet, da anderenfalls eine Überhitzung oder Überlastung des Elektromotors (74) auftreten kann. Daher wird in diesem Fall ein Unterprogramm (178) aufgerufen, in welchem für die gesamte Bremsanlage ein Parkmodus aktiviert wird.

In diesem Unterprogramm (178) kann vorgesehen sein, daß eine Statusmeldung über die Aktivierung bzw. Deaktivierung des Parkmodus an ein übergeordnetes Bremsen-Management gesandt wird. Dieses Bremsen-Management kann dann unter Berücksichtigung der Statusmeldungen weiterer Radbremsaktuatoren einen geeigneten Algorithmus zur Verringerung der Belastung der Radbremsaktuatoren ausführen.

Sofern in Fig. 23 in dem Verzweigungsblock (162) festgestellt wurde, daß eine Vollbremsung vorliegt, wird zu dem Ausgabeblock (185) verzweigt. Dort wird ein entsprechendes Verstellsignal an den Elektromotor (74) abgegeben, durch das der Hebel (1) auf den maximal möglichen Verstellwinkel (Ω_{Max}) verstellt wird und die Bremse somit mit der höchstmöglichen Zuspannkraft be-

aufschlägt wird. Sodann wird der Verfahrensablauf mit dem Block (175), dargestellt in Fig. 24, fortgesetzt. Das Verfahren endet sodann in einem Block (179).

In den Fig. 25 bis 29 ist eine Variation der Lüftspielgrenze ($\Omega = \Omega_{\text{LS}}$), nachfolgend kurz als Lüftspiel (Ω_{LS}) bezeichnet, durch Einstellung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) sowie dessen Auswirkungen auf den Verlauf der Kennlinie der Eingangskraft (F_E) über den Zuspännweg dargestellt. Unter dem Begriff Zuspännweg wird hier jede für eine quantitative Charakterisierung des Zuspännvorgangs der Bremse geeignete Größe verstanden. Als Zuspännweg wird im folgenden der Verschwenkwinkel (Ω) des Hebels (1) verwendet. Bei andersartigen Ausführungen einer Zuspänneinrichtung kann z.B. auch eine Weggröße verwendet werden.

Das Lüftspiel (Ω_{LS}) wird hierbei auf diskrete Werte ($\Omega_{\text{LS}0}$, $\Omega_{\text{LS}1}$, $\Omega_{\text{LS}2}$, $\Omega_{\text{LS}3}$, $\Omega_{\text{LS}4}$) eingestellt. Der Wert ($\Omega_{\text{LS}0}$) entspricht einem erwünschten Wert, d. h. er bewirkt einen erwünschten Kennlinienverlauf der Eingangskraft (F_E) über den Zuspännweg. Der Wert ($\Omega_{\text{LS}1}$) ist kleiner gewählt als der Wert ($\Omega_{\text{LS}0}$) des Lüftspiels gemäß Fig. 25, und die Werte ($\Omega_{\text{LS}2}$, $\Omega_{\text{LS}3}$, $\Omega_{\text{LS}4}$) sind größer als der Wert ($\Omega_{\text{LS}0}$).

Wie aus den Fig. 25 bis 27 erkennbar ist, variiert mit dem Wert ($\Omega_{\text{LS}0}$, $\Omega_{\text{LS}1}$, $\Omega_{\text{LS}2}$) des Lüftspiels in gleichem Maße der Punkt, an dem sich der Kennlinienverlauf in

einen oberen und einen unteren Kurvenzweig aufspaltet, was unmittelbar auf die Hystereseeigenschaften der Bremsbeläge und weiterer Teile der Zuspanneinrichtung zurückgeht. Bei relativ großen Werten (Ω_{Ls3} , Ω_{Ls4}) des Lüftspiels erfolgt die Aufspaltung in zwei Kurvenzweige bereits vor der Überwindung des Lüftspiels, d. h. vor dem Anlegepunkt der Bremsbeläge an die Bremsscheibe. Dieses Verhalten wird durch eine Hysteresewirkung des Elektromotors (74) bewirkt.

Neben der horizontalen Verlagerung von Teilen des Kennlinienverlaufs bei Variation des Lüftspiels erfolgt zugleich eine vertikale Verlagerung des Kennlinienverlaufs, derart, daß der Maximalpunkt des oberen Kennlinienzweigs und der Minimalpunkt des unteren Kennlinienzweigs gleichsinnig verschoben werden. Insbesondere erfolgt bei einer Verringerung des Lüftspiels eine Anhebung des gesamten Kennlinienverlaufs, d. h. Maximalpunkt und Minimalpunkt steigen in Richtung größerem Eingangskraft-Bedarf hin an. Bei einer Vergrößerung des Lüftspiels fallen beide Punkte in Richtung geringerem Eingangskraft-Bedarf ab. Bei ausreichend großem Lüftspiel (Ω_{Ls3} , Ω_{Ls4}) verlagert sich der Minimalpunkt in den Bereich negativen Eingangskraft-Bedarfs. Bei weiterer Vergrößerung des Lüftspiels (Ω_{Ls4}) gelangt sogar der Maximalpunkt in den Bereich negativen Eingangskraft-Bedarfs. In diesem Bereich negativen Eingangskraft-Bedarfs liegt eine selbstzuspannende Charakteristik der Zuspanneinrichtung vor.

Weiterhin ist aus den Fig. 25 bis 29 erkennbar, daß sich bei einer Variation des Lüftspiels von kleinen zu großen Werten hin der Abstand zwischen dem oberen und dem unteren Kennlinienzweig verringert, d. h. die Hysterese wird geringer.

Wie bereits erwähnt, ist es insbesondere im Bereich großer Zuspännkräfte, zu denen große Zuspännweg-Werte (Ω) korrespondieren, wünschenswert, daß der Kennlinienverlauf innerhalb eines gewünschten Bereichs (F_{\max} , F_{\min}) der Eingangskraft liegt. Ein derartiger Verlauf ist in der Fig. 25 dargestellt. Infolge von Temperatureinflüssen, z. B. durch eine Aufheizung der Bremsbeläge und anderer Teile der Zuspänneinrichtung durch häufige Bremsungen, kann es vorkommen, daß sich der Kennlinienverlauf gemäß der Fig. 26 verändert, z. B. durch eine erwärmungsbedingte Verringerung des Lüftspiels auf den Wert (Ω_{Ls1}). Beim Kennlinienverlauf gemäß Fig. 26 verläuft der Kennlinienabschnitt (200) oberhalb des maximal erwünschten Werts (F_{\max}) der Eingangskraft, so daß der Kennlinienverlauf gemäß Fig. 26 insgesamt einen unerwünschten Verlauf annimmt. Das Steuergerät (75) erkennt dies und vergrößert durch Ansteuerung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) das Lüftspiel wieder auf den Wert (Ω_{Ls0}), so daß sich fortan wieder der gewünschte Kennlinienverlauf gemäß Fig. 25 ergibt.

In analoger Weise kann es bei einer Abkühlung von zuvor stark erwärmten Bremsen zu einer Verschiebung des Kenn-

linienverlaufs gemäß der Fig. 27 kommen, z. B. infolge einer Verringerung der Temperatur, welche eine Vergrößerung des Lüftspiels auf den Wert (Ω_{Ls2}) zur Folge hat. Hierbei wandert der Kennlinienverlauf in seinem unteren Kennlinienzweig außerhalb des gewünschten Bereichs, d. h. unterhalb des minimal erwünschten Werts (F_{min}) der Eingangskraft. Der Kennlinienabschnitt (201) liegt unterhalb der minimal erwünschten Eingangskraft (F_{min}). Das Steuergerät (75) erkennt eine derartige Abweichung vom erwünschten Kennlinienverlauf und steuert daraufhin den Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) derart an, daß das Lüftspiel auf den erwünschten Wert (Ω_{Ls0}) verringert wird. Fortan liegt wieder der erwünschte Kennlinienverlauf gemäß Fig. 25 vor.

In bestimmten Zuständen, in denen eine längerfristige Betätigung der Bremse erwünscht ist, z. B. beim Abstellen des Fahrzeugs auf einem Parkplatz oder beim Anhalten an einer Lichtzeichenanlage, kann eine energiesparende und den Elektromotor (74) wenig belastende Art der Bremsenzuspannung erwünscht sein. Dieser Betriebszustand wird nachfolgend auch als Parkbremsbetrieb bezeichnet. In derartigen Fällen steuert das Steuergerät (75) den Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) derart an, daß ein größerer Wert (Ω_{Ls3}) des Lüftspiels erreicht wird. In diesem Fall wird eine nicht selbsttätig lösende Bremsencharakteristik erreicht, was in der Fig. 28 daran erkennbar ist, daß der obere Kennlinienzweig oberhalb der Abszissenachse und

der untere Kennlinienzweig unterhalb der Abszissenachse verläuft. Für das Zuspinnen der Bremse ist dann weiterhin eine positive Eingangskraft (F_E) erforderlich. Nach Abschalten der Eingangskraft (F_E) bleibt die Zuspinnstellung infolge des unteren Kennlinienzweigs stabil. Ein Lösen der Bremse erfolgt erst bei Beaufschlagung des Zuspinn-Aktuators mit einer negativen Eingangskraft (F_E), d.h. durch Ansteuerung des Elektromotors (74) in Löserichtung. Der Kennlinienverlauf gemäß Fig. 28 wird bevorzugt bei kurzzeitigen Haltephasen des Fahrzeugs, z. B. beim Halten an einer Lichtzeichenanlage, oder beim Abstellen des Fahrzeugs z. B. auf einem Parkplatz eingestellt.

In dem Parkbremsbetrieb kann sich bei zunächst erwärmter Bremse infolge Abkühlung ein Kennlinienverlauf gemäß Fig. 29 einstellen. In diesem Zustand ist die Bremsencharakteristik bei Hebelwinkeln (Ω) größer als dem Totpunktwinkel (Ω_T) vollständig selbstzuspannend, was daran erkennbar ist, daß der obere und der untere Kennlinienzweig im Bereich negativer Eingangskraft liegen. Nach Wiederinbetriebnahme des Fahrzeugs stellt das Steuergerät (75) wiederum mittels des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) das Lüftspiel beispielsweise auf den Wert (Ω_{Ls1}) ein.

In der Fig. 30 ist ein bevorzugtes Verfahren zur Anpassung des Kennlinienverlaufs der Eingangskraft (F_E) über den Zuspinnweg (Ω) durch Einstellung des Lüftspiels

mittels Steuerung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) als Flußdiagramm dargestellt. Das Verfahren kann z. B. als Unterprogramm eines in dem elektronischen Steuergerät (75) vorgesehenen Steuerprogramms realisiert sein. Das Verfahren beginnt mit einem Block (210).

In einem Verzweigungsblock (211) wird geprüft, ob derzeit eine Bremsung durchgeführt wird. Im Falle einer Bremsung wird zu dem Block (212) verzweigt, in dem die bei der aktuellen Bremsung auftretende Folge von Wertepaaren der Eingangskraft (F_E) und des Zuspannwegs (Ω) als Kennlinienverlauf gespeichert wird. Von dem Block (212) wird direkt zu dem Block (218) verzweigt, mit dem das Verfahren endet.

Falls in dem Block (211) festgestellt wurde, daß keine Bremsung vorliegt, wird zu dem Block (213) verzweigt, in welchem der gespeicherte Kennlinienverlauf, bzw. gegebenenfalls mehrere zuvor gespeicherte Kennlinienverläufe, ausgewertet werden. Hierbei reicht es im Prinzip, einen einzigen Kennlinienverlauf, der zuvor gespeichert wurde, auszuwerten. Eine verlässlichere Information liefert jedoch die Speicherung und Auswertung einer Mehrzahl von gemessenen Kennlinienverläufen. Bei einer Mehrzahl von Kennlinienverläufen kann die Auswertung beispielsweise eine Mittelwertbildung aus den gespeicherten Kennlinienverläufen enthalten. Aus dem Kennlinienverlauf bzw. einem aus der Mehrzahl der Kennlinienverläufe resultierenden Kennlinienverlauf werden

dann Kenngrößen ermittelt, welche den Kennlinienverlauf charakterisieren, insbesondere hinsichtlich Krümmung, Maximalwert, Amplitude und/oder Hysterese. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird beispielhaft in dem Block (213) der Maximalwert (F_{oben}) des oberen Kennlinienzweigs sowie der Minimalwert (F_{unten}) des unteren Kennlinienzweigs ermittelt.

Sodann erfolgt mittels der Blöcke (214, 215, 216, 217) eine iterative Einstellung des Lüftspiels, derart, daß das Lüftspiel schrittweise solange variiert wird, bis die Abweichung zwischen dem eingestellten Kennlinienverlauf und dem erwünschten Kennlinienverlauf einen vorbestimmten Wert unterschreitet. Die iterative Einstellung erfolgt hierbei nach mehrmaligem Durchlauf des Verfahrens gemäß Fig. 30, wobei für jeden erneuten Iterationsschritt eine Vollbremsung zur Ermittlung eines neuen Kennlinienverlaufs erforderlich ist. Als Maß für die Abweichung zwischen dem eingestellten Kennlinienverlauf und dem erwünschten Kennlinienverlauf werden die Maximal-/Minimalwerte (F_{oben} , F_{unten}) verwendet, welche darauf überprüft werden, ob sie innerhalb des gewünschten Bereichs (F_{max} , F_{min}) der Eingangskraft liegen. Hierfür wird in einem Verzweigungsblock (214) zunächst geprüft, ob der Maximalwert (F_{oben}) den maximal erwünschten Wert (F_{max}) der Eingangskraft überschreitet. Wenn eine Überschreitung festgestellt wird, wird zu dem Block (215) verzweigt, in welchem das Lüftspiel durch Betätigung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) um ein vorgegebenes Inkrement ($\Delta\Omega$) vergrößert

Bert wird. Hiernach endet das Verfahren in dem Block (218).

Falls in dem Verzweigungsblock (214) keine Überschreitung des maximal erwünschten Wertes (F_{\max}) der Eingangskraft festgestellt wird, wird zu dem Verzweigungsblock (216) verzweigt. Dort wird der Minimalwert (F_{unten}) auf eine Unterschreitung des minimal erwünschten Wertes (F_{\min}) der Eingangskraft überprüft. Im Falle der Unterschreitung wird zu dem Block (217) verzweigt, in welchem das Lüftspiel um das Inkrement ($\Delta\Omega$) verkleinert wird. Das Verfahren endet dann in dem Block (218).

Falls in dem Block (216) keine Unterschreitung des minimal erwünschten Wertes (F_{\min}) der Eingangskraft festgestellt wurde, besteht kein Bedarf zur Verstellung des Lüftspiels, da die Kennlinie bereits in dem gewünschten Bereich liegt. Das Verfahren endet dann mit dem Block (218).

Falls bei einer Aktivierung der Bremsanlage, mit anderen Worten bei einer Bremsung, ein Ausfall oder eine Störung der Zuspanneinrichtung oder Teilen davon festgestellt wird, wird ein alternativer, nicht in den Figuren dargestellter Programmpfad ausgeführt, in welchem der Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) ausgefahren wird und mittels des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) eine Zuspannkraft und infolgedessen eine Bremskraft erzeugt wird. Die von dem Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) erzeugte Bremskraft wird dabei gemäß der Vorgabe durch

einen Bediener, z. B. über ein Bremspedal, eingestellt. Die von dem Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) erzeugbare Bremskraft kann hierbei wenigstens 20 Prozent der von der Zuspanneinrichtung im fehlerfreien Zustand erzeugbaren Bremskraft entsprechen.

In der Fig. 31 ist eine weitere bevorzugte Ausführungsform eines Verfahrens zur Anpassung des Kennlinienverlaufs der Eingangskraft (F_E) über den Zuspannweg (Ω) durch Einstellung des Lüftspiels als Flußdiagramm dargestellt. Das Verfahren beginnt mit einem Block (260).

In einem Verzweigungsblock (261) wird geprüft, ob derzeit eine Bremsung durchgeführt wird. Im Falle einer Bremsung wird zu dem Block (269) verzweigt, in dem die bei der aktuellen Bremsung auftretende Folge von Wertepaaren der Eingangskraft (F_E) und des Zuspannwegs (Ω) als Kennlinienverlauf gespeichert wird. Die Speicherung erfolgt vorzugsweise in der Art, daß eine Art Ringpuffer als Speicher verwendet wird, in dem eine vorgegebene Anzahl von Kennlinienverläufen abgespeichert werden kann, z.B. die zuletzt aufgetretenen zehn Kennlinienverläufe. Von dem Block (269) wird direkt zu dem Block (268) verzweigt, mit dem das Verfahren endet.

Falls in dem Block (261) festgestellt wurde, daß keine Bremsung vorliegt, wird zu dem Block (262) verzweigt, in welchem der gespeicherte Kennlinienverlauf bzw. die gespeicherten zehn Kennlinienverläufe ausgewertet werden. Für die Auswertung wird vorzugsweise ein aus den

zehn Kennlinienverläufen durch arithmetische Mittelung bestimmter mittlerer Kennlinienverlauf verwendet. Hieraus wird derjenige Punkt der Kennlinie bestimmt, an dem ein vorgegebener Anstieg der Eingangskraft (F_E) erfolgt. An diesem Punkt kann bezogen auf den Zuspännweg (Ω) von einer Überwindung des Lüftspiel ausgegangen werden, d.h. der an diesem Punkt vorliegende Wert des Zuspännwegs (Ω) kann als aktuell vorliegendes Lüftspiel (Ω_{Ls}) verwendet werden. In dem darauffolgenden Block (263) wird dann eine Lüftspieländerung ($\Delta\Omega_{Ls}$) als Differenz aus aktuell vorliegendem Lüftspiel (Ω_{Ls}) und einem erwünschten Lüftspiel, z. B. dem Wert (Ω_{Ls0}), berechnet.

Sodann erfolgt mittels der Blöcke (264, 265, 266, 267) eine Einstellung des Lüftspiels, derart, daß das Lüftspiel variiert wird, damit die verbleibende Lüftspieländerung ($\Delta\Omega_{Ls}$) in einem erwünschten Bereich ($\Delta\Omega_{LsMin}$, $\Delta\Omega_{LsMax}$) liegt. Hierfür wird in einem Verzweigungsblock (264) zunächst geprüft, ob die Lüftspieländerung ($\Delta\Omega_{Ls}$) den minimal erwünschten Wert ($\Delta\Omega_{LsMin}$) unterschreitet. Wenn eine Unterschreitung festgestellt wird, wird zu dem Block (266) verzweigt, in welchem das Lüftspiel durch Betätigung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) um ein vorgegebenes Inkrement ($\Delta\Omega$) vergrößert wird. Hiernach endet das Verfahren in dem Block (268).

Falls in dem Verzweigungsblock (264) keine Unterschreitung des minimal erwünschten Wertes ($\Delta\Omega_{LsMin}$) der Lüft-

spieländerung ($\Delta\Omega_{Ls}$) festgestellt wird, wird zu dem Verzweigungsblock (265) verzweigt. Dort wird die Lüftspieländerung ($\Delta\Omega_{Ls}$) auf eine Überschreitung des maximal erwünschten Wertes ($\Delta\Omega_{LsMax}$) überprüft. Im Falle der Überschreitung wird zu dem Block (267) verzweigt, in welchem das Lüftspiel um das Inkrement ($\Delta\Omega$) verkleinert wird. Das Verfahren endet dann in dem Block (268). Falls in dem Block (265) keine Überschreitung des maximal erwünschten Wertes ($\Delta\Omega_{LsMax}$) der Lüftspieländerung ($\Delta\Omega_{Ls}$) festgestellt wurde, besteht kein Bedarf zur Verstellung des Lüftspiels, da das Lüftspiel bereits in dem erwünschten Bereich ($\Delta\Omega_{LsMin}$, $\Delta\Omega_{LsMax}$) liegt. Das Verfahren endet dann mit dem Block (268).

Das Inkrement ($\Delta\Omega$) kann vorteilhaft als variierbarer Wert ausgebildet sein, der je nach Betriebszustand der Bremse festgelegt werden kann. So ist es vorteilhaft, das Inkrement ($\Delta\Omega$) bei stark erwärmter Bremse, z.B. in dem nachfolgend noch erläuterten extremen Fahrbetrieb, infolge erhöhten Belagverschleißes größer festzulegen als im Normalbetrieb.

Ein weiteres, als Unterprogramm in dem Steuergerät (75) zu realisierendes Verfahren ist in der Fig. 32 dargestellt. Das Verfahren gemäß Fig. 32 dient zur Ermittlung des maximal verfügbaren Lüftspiels, d. h. des verfügbaren Verstellbereichs des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) von einer Nullposition bis zu einer Endposition, bei der die Bremsbeläge am Brems-

reibkörper, d. h. an der Bremsscheibe, anliegen. Das Verfahren beginnt mit einem Block (220).

In einem Verzweigungsblock (221) wird zunächst geprüft, ob eine Bremsung derzeit vorliegt. Im Falle einer Bremsung wird direkt zu dem Block (230) verzweigt, mit dem das Verfahren endet, da während der Bremsung keine beliebige Verstellung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) erwünscht ist und auch nicht möglich ist. Wenn keine Bremsung vorliegt, wird zu dem Block (222) verzweigt. Dort wird der Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) in seine in der Fig. 11 dargestellte Nullposition verstellt. In einem darauffolgenden Block (223) wird ein Zeitzähler (T) auf den Wert Null gesetzt. Außerdem wird ein Wegzähler (W) ebenfalls auf den Wert Null gesetzt. Der Zeitzähler (T) dient zur Messung der Zeit von dem Beginn der Lüftspiel-Aktuatorbewegung bis zu einem Zeitgrenzwert (T_{Grenz}), nach welchem der Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) voraussichtlich spätestens seine Endposition erreicht haben müßte. Der Wegzähler (W) dient zur Messung der von dem Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) zurückgelegten Wegstrecke, welche im vorliegenden Ausführungsbeispiel als die von dem Verstellmotor (90) zurückgelegte Drehwinkeländerung gemessen wird.

In einem Block (224) wird der Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) durch Einschalten des Verstellmotors (90) in Ausfahrriichtung bewegt. Die Bewe-

gung wird bis zum Anhalten des Lüftspiel-Aktuators in Block (227) permanent fortgesetzt, sofern nicht die Endposition erreicht ist. Während dieser Bewegung wird mittels des Wegzählers (W) die zurückgelegte Drehwinkeländerung gemessen. In einem Verzweigungsblock (225) wird als Maß für die von dem Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) abgegebene Kraft der von dem Verstellmotor (90) aufgenommene Strom (I) gemessen und mit einem Grenzwert (I_{Grenz}) verglichen. Da bei Verwendung eines herkömmlichen Elektromotors als Verstellmotor (90) von einem nennenswerten Stromanstieg beim Erreichen der Endposition des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) infolge einer mechanischen Blockierung des Elektromotors zu erwarten ist, kann durch diese Abfrage das Erreichen der Endposition festgestellt werden. Falls der Stromgrenzwert (I_{Grenz}) überschritten wird, wird zu dem Block (227) verzweigt. Anderenfalls erfolgt in dem Verzweigungsblock (226) eine weitere Überprüfung darauf, ob die seit Beginn des Ausfahrens des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) verstrichene Zeit (T) einen Zeitgrenzwert (T_{Grenz}) überschreitet. Eine Überschreitung dieses Zeitgrenzwerts kann auch als Indiz für das Erreichen der Endposition des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) gewertet werden. Die doppelte Abfrage in den Blöcken (225, 226) wird aus Sicherheitsgründen vorgesehen. Falls beide Überprüfungen in den Blöcken (225, 226) negativ ausfallen, wird wiederum zu dem Block (224) verzweigt und somit die Ausfahrbewegung des

Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) fortgesetzt.

Im anderen Fall wird in dem Block (227) der Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) durch Abschalten des Verstellmotors (90) angehalten. In einem Block (228) wird der erreichte Wert des Wegzählers (W) als verfügbares Lüftspiel in dem Steuergerät (75) gespeichert. Sodann wird in einem Block (229) wiederum das normale Lüftspiel eingestellt, d. h. ein Lüftspiel, bei dem der Kennlinienverlauf der Eingangskraft (F_E) über den Zuspännweg (Ω) im wesentlichen den erwünschten Kennlinienverlauf annimmt, wie z. B. in Fig. 25 dargestellt. Das Verfahren gemäß Fig. 32 endet in dem Block (230).

In dem Zustandsübergangsdiagramm der Fig. 33 sind vorteilhafte Betriebsarten für einen Lüftspiel-Aktuator eines Radbrems-Aktuators dargestellt. In der Praxis können weitere Betriebsarten erforderlich sein und hinzugefügt werden. Die dargestellten Betriebsarten können verallgemeinert auch als Betriebsarten der gesamten Bremsanlage angewendet werden.

Ausgangspunkt der Darstellung der Fig. 33 ist die Betriebsart (240). In der Betriebsart (240) ist zumindest der Radbrems-Aktuator, gegebenenfalls auch die gesamte Bremsanlage, ausgeschaltet, z. B. über den Zündungsschalter des Fahrzeuges. Die Betriebsart (240) kann durch den Zustandsübergang (250) verlassen werden, der

Zustandsübergang (250) ist in der Praxis vorzugsweise durch das Einschalten der Stromversorgung, z. B. durch Einschalten des Zündungsschalters, realisiert. Der Zustandsübergang (250) führt zu der Betriebsart (241), die als Diagnosebetrieb bezeichnet wird. In dem Diagnosebetrieb werden eine Mehrzahl von Funktionen ausgeführt, die zur Überprüfung des Radbrems-Aktuators in elektrischer und mechanischer Hinsicht als auch zur Überprüfung von weiteren Teilen der Bremsanlage dient. So werden in dem Diagnosebetrieb zunächst sämtliche elektrischen Verbindungen von dem Steuergerät (75) zu den Aktuatoren (74, 90) und den Sensoren auf plausible Signale geprüft. Es wird außerdem geprüft, ob unerwünschte elektrische Zustände wie Kurzschlüsse oder unterbrochene Leitungen vorliegen. Im Rahmen der mechanischen Prüfung ist vorzugsweise vorgesehen, daß das maximal verfügbare Lüftspiel durch Betätigung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) gemäß der anhand der Fig. 32 beschriebenen Vorgehensweise bestimmt wird. Hierdurch wird zugleich auch die Funktionsfähigkeit des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) überprüft. Nach Ermittlung des maximal verfügbaren Lüftspiels wird in dem Diagnosebetrieb ein in dem Steuergerät gespeicherter Standardwert für das Lüftspiel eingestellt.

In dem Diagnosebetrieb ist zunächst die normale Bremsfunktion unterdrückt, d. h. ein Betätigen des Bremspedals durch den Fahrer bewirkt noch keine gezielte Zuspannung der Bremse. Nach Bestimmung des Lüftspiels er-

folgt eine erstmalige Bestimmung des aktuell vorliegenden Kennlinienverlaufs des Zuspann-Aktuators durch einen im Rahmen des Diagnosebetriebs ausgelösten Zuspannvorgang der Bremse. Nach Aufnahme eines ersten Kennlinienverlaufs wird dieser gemäß einem der Verfahren der Fig. 30 oder 31 ausgewertet, und es erfolgt die beschriebene iterative Anpassung des Lüftspiels. Während des Diagnosebetriebs kann der Verfahrensablauf gemäß Fig. 30 oder 31 auch mehrfach durchgeführt werden, bis der gemessene Kennlinienverlauf an einen erwünschten Kennlinienverlauf angenähert wurde. Hierdurch soll sichergestellt werden, daß der Elektromotor (74) die Bremse einerseits betriebssicher zuspannen kann, andererseits die Bremse eine selbstlösende Charakteristik aufweist.

Bei einem Fahrzeug mit mehreren Radbrems-Aktuatoren der zuvor beschriebenen Art ist es sinnvoll, daß die Durchführung des Diagnosebetriebs, in welchem die Bremse zeitweise gelöst werden muß, derart koordiniert erfolgt, daß das Fahrzeug sicher festgehalten wird, insbesondere an Fahrbahnsteigungen. Hierfür sind verschiedene Verfahren vorteilhaft anwendbar, z. B. eine zentrale Steuerung, welches den einzelnen Steuergeräten der Radbrems-Aktuatoren die Erlaubnis zur Durchführung des Diagnosebetriebs zuteilt. Die zentrale Steuerung kann beispielsweise von einem Zentral-Steuergerät oder auch von einem der Steuergeräte der Radbrems-Aktuatoren durchgeführt werden. Es ist auch vorteilhaft, eine zeitliche Staffelung der Radbrems-Aktuatoren bei der

Durchführung des Diagnosebetriebs vorzusehen, z. B. derart, daß jedem Radbrems-Aktuator nach Einschalten der Zündung ein festgelegter Zeitbereich zur Verfügung steht, in dem der Diagnosebetrieb durchgeführt werden muß. Die einzelnen Zeitbereiche für die Radbrems-Aktuatoren sind dann entsprechend nicht überlappend festzulegen. Eine weitere vorteilhafte Möglichkeit der Koordination besteht in einer Art Ketten- bzw. Staffel-Funktion, derart, daß ein fest definierter Radbrems-Aktuator mit dem Diagnosebetrieb beginnt, das Ende seines Diagnosebetriebs einem anderen Radbrems-Aktuator mitteilt, welcher daraufhin seinen Diagnosebetrieb durchführt und wiederum die Beendigung einem weiteren Radbrems-Aktuator meldet. Auf diese Weise ist eine Koordination auch ohne eine zentralisierte Funktion möglich.

Eine weitere, insbesondere zeitsparende Verfahrensweise zur Einstellung eines Lüftspiel-Werts, der einen erwünschten Kennlinienverlauf ermöglicht, kann wie folgt ablaufen:

Die Zuspanneinrichtung wird auf einen Zuspann-Winkel von beispielsweise $\Omega = 15$ Grad eingestellt, die dabei von dem Elektromotor (74) auf den Hebel (1) einwirkende Eingangskraft (F_E) wird beispielsweise aus der Stromaufnahme des Elektromotors (74) bestimmt, die Zuspannung wird wieder zurückgenommen ($\Omega = 0$ Grad), und das Lüftspiel wird in Abhängigkeit von den ermittelten Werten der Eingangskraft (F_E) wie folgt verstellt:

$F_E < -5 \text{ N}$ (Newton): Das Lüftspiel ist um 1,0 mm zu verringern

$F_E < 0 \text{ N}$: Das Lüftspiel ist um 0,5 mm zu verringern

$F_E < 3 \text{ N}$: Das Lüftspiel ist um 0,3 mm zu verringern

$F_E < 5 \text{ N}$: Das Lüftspiel ist um 0,1 mm zu verringern

$F_E > 14 \text{ N}$: Das Lüftspiel ist um 0,1 mm zu vergrößern

$F_E > 16 \text{ N}$: Das Lüftspiel ist um 0,2 mm zu vergrößern

Diese Schritte werden solange wiederholt, bis die beim Zuspinnen der Bremse bei dem Zuspinn-Winkel von $\Omega = 15$ Grad auftretende Eingangskraft (F_E) im Bereich von 5 bis 13 N liegt. Falls dies nicht möglich ist, wird über den Zustandsübergang (251) von dem Diagnosebetrieb (241) zu der Betriebsart (242) Fehlerbetrieb gewechselt.

Im nächsten Schritt wird eine Zuspinnung in die Vollbremsstellung, d. h. maximaler Zuspinn-Winkel (Ω), eingestellt und wiederum die Eingangskraft (F_E) ausgewertet. Hierbei soll die Eingangskraft (F_E) beim Zu-

spannen in einem Bereich von 6 bis 16 N liegen, und beim Lösen der Bremse wegen der erwünschten selbstlösenden Charakteristik stets größer als 0 N sein. Falls diese Werte nicht erreicht werden, erfolgt eine Verstellung des Lüftspiels wie folgt:

F_E beim Zuspinnen < 6 N:	Das Lüftspiel ist um 0,05 mm zu verringern
F_E beim Zuspinnen > 16 N:	Das Lüftspiel ist um 0,05 mm zu vergrößern
F_E beim Lösen < 0 N:	Das Lüftspiel ist um 0,05 mm zu verringern

Hiernach wird der Verschwenkwinkel (Ω) bestimmt, bei dem die Eingangskraft (F_E) einen vordefinierten Anstiegswert erreicht und gespeichert.

Hieraufhin endet der Diagnosebetrieb, und der Betrieb wird mittels des Zustandsübergangs (253) in der Betriebsart (243) fortgesetzt, sofern in dem Diagnosebetrieb keine Fehler festgestellt wurden. Im vorerwähnten Fehlerfall wird mittels des Zustandsübergangs (251) zu der Betriebsart (242) Fehlerbetrieb gewechselt. In dieser Betriebsart wird ein Warnsignal erzeugt, z. B. durch Einschalten einer Warnlampe. Die Bremsanlage soll in diesem Fall nicht in der Vollbremsstellung verbleiben, damit eine Fahrt in eine Werkstatt möglich ist. Wenn trotz der Fehlererkennung noch eine ausreichende

Gesamt-Bremskraft der Bremsanlage vorliegt, z. B. weil nur eine Radbremse einen Defekt aufweist, wird vorzugsweise diese Bremse in die Lösestellung gebracht. Ein Rücksetzen dieser Betriebsart ist über den Zustandsübergang (252) möglich, beispielsweise durch Ausschalten der Zündung. Hierdurch gelangt der Radbrems-Aktuator bzw. die Bremsanlage wiederum in die Betriebsart (240).

Die Betriebsart (243) wird im normalen Fahrbetrieb eingenommen. Hierzu zählen alle Zustände, welche keine von der anhand der Fig. 30 und 31 beschriebenen Art der Einstellung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) abweichenden Maßnahmen hinsichtlich der Lüftspielverstellung erfordern. Von dem normalen Fahrbetrieb kann über einen Zustandsübergang (258) wiederum in den Diagnosebetrieb (241) gewechselt werden. Der Zustandsübergang (258) kann beispielsweise durch Anschließen eines Diagnosegeräts und Senden eines Diagnose-Aktivierungskommandos an die Bremsanlage ausgelöst werden.

In dem normalen Fahrbetrieb erfolgt eine Lüftspielnachstellung unter anderem auch zur Kompensation der Abnutzung der Bremsbeläge. Von dem normalen Fahrbetrieb (243) kann über ein Zustandsübergang (254) in eine Betriebsart (244) gewechselt werden. Die Betriebsart (244) betrifft alle Betriebszustände, die bei ungewöhnlich hoher Belastung der Bremsen auftreten, z. B. bei längerer Bergabfahrt, und wird nachfolgend als extremer

Fahrbetrieb bezeichnet. Der Zustandsübergang (254) wird ausgeführt, wenn in dem normalen Fahrbetrieb die Temperatur (9) wenigstens eines Bremsenteils, insbesondere eines Bremsenbelags einen Temperatur-Grenzwert (ϑ_{\max}) überschreitet. Diese Temperatur (9) kann mittels eines Temperatursensors erfaßt werden. Vorteilhafter ist es jedoch, einen Temperatursensor zu vermeiden, und die Bestimmung der Temperatur mittels eines Temperaturmodells bzw. eines Energiemodells durchzuführen. Hierbei wird ein Temperatur- oder Energiewert rechnerisch aus den Betätigungszeiten der Bremse im Verhältnis zu den Zeiten unbetätigten Zustands, in denen die Bremse abkühlen kann, ermittelt. Alternativ oder zusätzlich kann der Zustandsübergang (254) vorteilhaft dann ausgelöst werden, wenn eine Verringerung des Lüftspiels (Ω_{Ls}) festgestellt wird, z. B. durch Überwachung des Anstiegspunkts der Eingangskraft (F_E), wie anhand des Blocks (262) der Fig. 31 bereits erläutert.

In dem extremen Fahrbetrieb (244) wird vorzugsweise ein Alarmsignal, z. B. eine Warnlampe, aktiviert, welches den Fahrer des Fahrzeugs über diesen Zustand unterrichtet und vor unnötiger Bremsbetätigung warnt.

In dem extremen Fahrbetrieb (244) ist von einer Temperatur-bedingten Ausdehnung der Bremsbeläge (40, 42) und anderer Bremsenteile auszugehen, wodurch sich das Lüftspiel verkleinert. Zur Kompensation dieses Effekts wird das Lüftspiel mittels Verstellung des Lüftspiel-Aktua-

tors (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) wieder vergrößert, d.h. auf den erwünschten Normalwert eingestellt. Von der Betriebsart (244) kann über den Zustandsübergang (255) ein Wechsel zu der Betriebsart (243) erfolgen. Der Zustandsübergang (255) wird beispielsweise infolge eines Zeitkriteriums ausgelöst, z. B. wenn die Bremse für eine vorbestimmte Zeit, etwa eine Stunde, nicht betätigt worden ist.

Von der Betriebsart (243) kann andererseits ein Wechsel in eine Betriebsart (245) über einen Zustandsübergang (256) erfolgen. Die Betriebsart (245) wird auch als Parkbremsbetrieb bezeichnet. Für die Auslösung des Zustandsübergangs (256) wird vorzugsweise eine Messung der Zeitdauer einer gleichbleibenden Bremsbetätigung durchgeführt. Bei Überschreiten eines vorbestimmten Zeitdauer-Wertes erfolgt dann der Zustandsübergang (256). Alternativ kann der Zustandsübergang (256) auch durch ein weiteres Betätigungsmittel, z. B. einen Handbremshebel, der als stufbare Einrichtung ausgeführt sein kann, ausgelöst werden.

In dem Parkbremsbetrieb ist als besonderes Charakteristikum, im Gegensatz zum normalen Fahrbetrieb oder dem extremen Fahrbetrieb, eine Veränderung der Bremskraft relativ selten erforderlich. Der Parkbremsbetrieb (245) dient zur Einstellung einer relativ hohen Bremskraft, durch welche das Fahrzeug auch an Fahrbahnsteigungen sicher gehalten wird. Hierbei sollen der Stromverbrauch und die Belastung des Elektromotors (74) möglichst ge-

ring sein. Der Elektromotor (74) soll dabei insbesondere keiner dauerhaften Bestromung mit relativ hohen Stromwerten unterworfen sein, welche zu einer unerwünschten Erwärmung oder Beschädigung des Elektromotors (74) führen könnte.

In dem Parkbremsbetrieb erfolgt eine Vergrößerung des Lüftspiels, beispielsweise wie in Fig. 28 dargestellt, mit der Wirkung, daß die Bremse eine nicht selbstlösende Charakteristik annimmt. Beispielsweise kann das Lüftspiel aus der aktuellen Position heraus um 0,3 mm vergrößert werden. Anschließend wird der maximale Verschwenkwinkel (Ω) eingestellt, so daß eine Vollbremsung erfolgt. Hieraufhin wird die von dem Elektromotor (74) erzeugte Eingangskraft (F_E) entsprechend reduziert oder abgeschaltet.

Aus dem Parkbremsbetrieb (245) kann ein Wechsel in den normalen Fahrbetrieb (243) über einen Zustandsübergang (257) erfolgen. Der Zustandsübergang (257) kann vorzugsweise durch das Lösen des weiteren Betätigungsmittels (Handbremshebel) oder auch durch eine Änderung des Bremsbetätigungswunschs durch den Fahrer erfolgen.

Durch weitere, in der Fig. 32 nicht dargestellte Zustandsübergänge kann aus jeder der Betriebsarten (241, 243, 244, 245) ein direkter Übergang in die Betriebsart (240) erfolgen, z. B. indem die Zündung ausgeschaltet wird.

Als Elektroaktuator sei im nachfolgenden Ausführungsbeispiel angenommen, es wird ein herkömmlicher Elektromotor dafür verwendet, der eine Drehbewegung abgeben kann. Die Drehbewegung kann in zwei Bewegungsrichtungen stattfinden, z. B. Linksdrehung und Rechtsdrehung. Diese Bewegungsrichtungen seien nachfolgend allgemein als "A" und "B" bezeichnet. Der Elektromotor ist mechanisch fest mit einer Zuspanneinrichtung einer Bremse für ein Fahrzeug verbunden, wie etwa aus dem eingangs genannten Stand der Technik bekannt. Die Zuspanneinrichtung kann ebenfalls zwei Bewegungsrichtungen ausführen. Die eine Bewegungsrichtung führt zum Zuspinnen der Bremse und wird nachfolgend Zuspannrichtung genannt. Die andere Bewegungsrichtung führt zum Lösen der Bremse und wird nachfolgend Löserichtung genannt. Die in Löserichtung maximal erreichbare Position entspricht einer vollständig gelösten Bremse, was als Lösestellung bezeichnet wird.

Das Verfahren gemäß Fig. 34 beginnt mit einem Block (301). In einem darauffolgenden Verzweigungsblock (302) wird ein Zuordnungsspeicher (Z) abgefragt. Der Zuordnungsspeicher (Z) ist derart definiert, daß er nach erfolgreicher Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens die Information enthält, welche der möglichen Bewegungsrichtungen ("A", "B") des Elektromotors eine Bewegung der mit dem Elektromotor verbundenen Zuspanneinrichtung in Zuspannrichtung bewirkt. Die entgegengesetzte Bewegungsrichtung würde demzufolge zu einer Bewegung in Löserichtung führen. Der Zuordnungsspeicher

(Z) kann somit entweder eine der beiden möglichen Zuordnungen ("A", "B") enthalten, oder er kann im gelöschten Zustand einen neutralen Wert ("0") enthalten. Dieser neutrale Wert ("0") würde z. B. bei erstmaliger Inbetriebnahme des Bremsenaktuators herstellungsseitig vorliegen.

In dem Verzweigungsblock (302) wird daher geprüft, ob der Zuordnungsspeicher (Z) den neutralen Wert ("0") enthält und somit noch keine der möglichen Zuordnungen ("A", "B") gespeichert ist. Falls bereits eine der möglichen Zuordnungen ("A", "B") gespeichert ist, wird direkt zu dem Block (312) verzweigt, mit dem das Verfahren endet. Anderenfalls wird eine automatische Ermittlung der Zuordnung in der nachfolgend beschriebenen Weise, beginnend mit einem Block (303), durchgeführt.

In dem Block (303) wird ein vorgegebener Prüfzyklus eingeleitet, derart, daß der Elektromotor zunächst in einer ("A") seiner beiden möglichen Bewegungsrichtungen ("A", "B") gestartet wird. Daraufhin wird in Block (304) ein Unterprogramm aufgerufen, welches in Fig. 35 näher dargestellt ist.

Das Unterprogramm gemäß Fig. 35 beginnt mit einem Block (320). In einem darauffolgenden Zuweisungsblock (321) wird ein Zeitzähler (T) auf einen Anfangswert (0) gesetzt. Sodann wird in einem Verzweigungsblock (322) geprüft, ob der Elektromotor, welcher zuvor im Block (303) der Fig. 34 gestartet wurde, eine Drehbewegung

ausführt. Dies wird vorzugsweise durch eine in oder an dem Elektromotor angeordnete Drehbewegungs-Erfassungseinrichtung, z. B. eine Lichtschranke oder einen induktiven Sensor, erfaßt. Durch die Überprüfung, ob der Elektromotor dreht, wird indirekt geprüft, ob die Zuspansseinrichtung eine Bewegung in Zuspansrichtung ausführt. Als Anfangszustand wurde beim vorliegenden Ausführungsbeispiel davon ausgegangen, daß sich die Zuspansseinrichtung in der Lösestellung befindet und somit nicht weiter in Löserichtung bewegt werden kann. Daher kann die Zuspansseinrichtung und demzufolge der damit mechanisch verbundene Elektromotor nur dann eine Bewegung ausführen, wenn diese in Zuspansrichtung erfolgt.

Falls in dem Verzweigungsblock (322) festgestellt wird, daß der Elektromotor eine Drehbewegung ausführt, wird zu dem Zuweisungsblock (328) verzweigt, wo eine Ergebnisvariable (R) auf den Wert ("A") gesetzt. Sodann wird in einem Block (329) der Elektromotor angehalten, woraufhin das Unterprogramm gemäß Fig. 35 in einem Block (330) beendet wird.

Falls in dem Verzweigungsblock (322) jedoch festgestellt wurde, daß der Elektromotor keine Drehbewegung ausführt, so wird zu einem Block (323) verzweigt. Dort wird die Stromaufnahme (I) des Elektromotors erfaßt, z. B. durch eine Meßeinrichtung an einer der Stromversorgungsleitungen des Elektromotors. Sodann wird in einem Verzweigungsblock (324) geprüft, ob die Stromaufnahme (I) einen Stromgrenzwert (I_{Grenz}) überschreitet.

Im Falle einer Überschreitung wird zu einem Zuweisungsblock (327) verzweigt. Eine Überschreitung des Stromgrenzwertes (I_{Grenz}) wird als Indiz dafür verwendet, daß die Zuspanneinrichtung keine Bewegung in Zuspannrichtung ausführt. In diesem Falle ist davon auszugehen, daß die Bewegungsrichtung ("A") des Elektromotors der Löserichtung der Zuspanneinrichtung zugeordnet ist. Daher wird in dem Block (327) die Ergebnisvariable (R) auf einen Wert ("B") gesetzt, welcher anzeigt, daß die Bewegungsrichtung ("B") des Elektromotors der Zuspanneinrichtung zugeordnet ist. Sodann wird das Unterprogramm gemäß Fig. 35 über die bereits erläuterten Blöcke (329, 330) beendet.

Falls in dem Verzweigungsblock (324) jedoch festgestellt wird, daß eine Überschreitung des Stromgrenzwerts (I_{Grenz}) nicht vorliegt, so wird zu einem Zuweisungsblock (325) verzweigt. Dort wird der Zeitzähler (T) inkrementiert. In einem nachfolgenden Verzweigungsblock (326) wird der Zeitzähler (T) auf Überschreitung eines Zeitdauer-Grenzwerts (T_{Grenz}) überprüft. Hierdurch wird die maximale Betätigungszeit des Elektromotors begrenzt. Falls der Zeitdauer-Grenzwert (T_{Grenz}) noch nicht überschritten wird, so wird nach Art einer Programmschleife wiederum zu dem Verzweigungsblock (322) verzweigt, so daß die erläuterten Überprüfungen in den Verzweigungsblöcken (322, 324, 326) erneut ausgeführt werden, bis eine die Programmschleife beendende Bedingung vorliegt.

Falls der Zeitdauer-Grenzwert (T_{Grenz}) überschritten wird, ohne daß in dem Verzweigungsblock (322) erkannt wurde, daß der Elektromotor eine Drehbewegung ausführt, so ist ebenfalls anzunehmen, daß die Bewegungsrichtung ("A") des Elektromotors nicht der Zuspännrichtung, sondern der Löserichtung der Zuspänneinrichtung zugeordnet ist. Daher wird ebenfalls zu dem Zuweisungsblock (327) verzweigt, in welchem die Ergebnisvariable (R) auf den Wert ("B") gesetzt wird. Das Unterprogramm gemäß Fig. 35 endet dann, wie schon erläutert, nach Ausführung des Blocks (329) in dem Block (330).

Hieraufhin wird in der Fig. 34 der Zuweisungsblock (305) ausgeführt. Dort wird der Zuordnungsspeicher (Z) auf den Wert der Ergebnisvariable (R) des Unterprogramms gemäß Fig. 35 gesetzt. In einem darauffolgenden Verzweigungsblock (306) wird geprüft, ob der Zuordnungsspeicher (Z) den Wert ("B") enthält. Falls der Wert ("B") enthalten ist, deutet dies darauf hin, daß in dem zuvor durchgeführten Prüfzyklus, bestehend aus den Blöcken (303, 304), die Bewegungsrichtung "A" des Elektromotors nicht zu einer Zuspännung geführt hat, sondern daß der Elektromotor keine Bewegung ausgeführt hat. Mögliche Ursachen dafür können sein, daß der Elektromotor durch die sich in Lösestellung befindliche Zuspänneinrichtung mechanisch blockiert war, oder daß der Elektromotor oder andere Teile des Bremsenaktuator einen Defekt aufweisen. Um die Möglichkeit eines Defekts zu erkennen und für einen späteren Betrieb der Bremse als Risikofaktor auszuschließen, wird in dem Fall, daß

in dem Verzweigungsblock (306) die Bedingung $Z = "B"$ als erfüllt erkannt wurde, in einem Block (307) ein zweiter Prüfzyklus begonnen.

In dem zweiten Prüfzyklus wird zunächst im Block (307) der Elektromotor in seiner zweiten Bewegungsrichtung ("B") gestartet. Falls kein Defekt vorliegen sollte, ist zu erwarten, daß die Zuspanneinrichtung eine Bewegung in Zuspannrichtung ausführt. Um dies zu verifizieren, wird nachfolgend in einem Block (308) wiederum das Unterprogramm gemäß Fig. 35 aufgerufen. Dieses Unterprogramm liefert als Ergebnis, wie schon erläutert, die Ergebnisvariable (R). Diese wird in der Fig. 34 in einem Verzweigungsblock (309) ausgewertet. Wenn die Ergebnisvariable (R) den Wert ("B") enthält, so zeigt dies, daß der Elektromotor erneut keine Drehbewegung ausgeführt hat, und demzufolge auch die Zuspanneinrichtung keine Bewegung in Zuspannrichtung durchführen konnte. Ein solches Verhalten deutet auf einen Fehler hin. Daher wird in einem solchen Fall zu einem Block (310) verzweigt, in welchem eine Fehlererkennung und -anzeige erfolgt. Beispielsweise kann eine für den Fahrer eines Fahrzeuges sichtbare Warnlampe eingeschaltet werden. Außerdem wird, da eine Ermittlung der Zuordnung der Bewegungsrichtungen nicht möglich ist, der Zuordnungsspeicher (Z) wieder auf den neutralen Wert (0) gesetzt. Sodann endet das Verfahren gemäß Fig. 34 mit einem Block (312).

Falls in dem Verzweigungsblock (306) bereits die Bedingung $Z = "B"$ nicht erfüllt war, was bedeutet, daß der Elektromotor zuvor eine Bewegung ausgeführt hat, ist eine weitere Überprüfung des Elektromotors durch den zweiten Prüfzyklus nicht erforderlich, und es wird direkt zu einem Block (311) verzweigt. In dem Block (311) wird die zuvor in Zuspannrichtung betätigte Zuspanneinrichtung wieder in die Lösestellung gestellt. Hiernach endet das Verfahren in dem Block (312). Im Falle des durchgeführten zweiten Prüfzyklus, enthaltend die Blöcke (307, 308), wird, falls in dem Verzweigungsblock (309) kein Defekt festgestellt wird, ebenfalls zu dem Block (311) verzweigt. Hiermit wird die Bremse wieder in die Lösestellung gebracht, und sodann das Verfahren in dem Block (312) beendet.

Als Ergebnis des zuvor erläuterten Verfahrens wurde eine Zuordnung zwischen der Bewegungsrichtung des Elektroaktors und der Bewegungsrichtung der Zuspanneinrichtung ermittelt, welche in dem Zuordnungsspeicher (Z) gespeichert ist. Der Zuordnungsspeicher (Z) enthält im vorliegenden Ausführungsbeispiel diejenige Bewegungsrichtung des Elektromotors, welche zu einer Bewegung der Zuspanneinrichtung in Zuspannrichtung führt. Hierdurch ist eine eindeutige Zuordnung zwischen den Bewegungsrichtungen definiert.

Patentansprüche

1. Zuspanneinrichtung für eine Bremse zur Abgabe einer Ausgangskraft (F_A) auf Bremskraft erzeugende Mittel (40, 41, 42, 43, 50) in Abhängigkeit von einer Eingangsgröße (F_E), mit einem Hebel (1) und einem bezüglich der Längsachse des Hebels (1) in einem Einwirkwinkel (α) eine Kraft (F_{Feder}) auf den Hebel (1) aufbringenden Krafterzeuger (7), gekennzeichnet durch eine reibungsarme Zuspänn-Charakteristik bedingt durch die konstruktive Ausführung der Zuspanneinrichtung und/oder durch die Auswahl der verwendeten Materialien.
2. Zuspanneinrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch Mittel (9, 10, 13, 70, 71) zur Veränderung des Einwirkwinkels (α) in Abhängigkeit der Eingangsgröße (F_E) derart, daß die Ausgangskraft (F_A) mittels einer Einstellung des Einwirkwinkels (α) auf einen gewünschten Wert einstellbar ist.
3. Zuspanneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Krafterzeuger (7) an einem Krafteinwirkungspunkt (18) auf den Hebel einwirkt und einen veränderbaren Kraftübertragungspunkt (6) aufweist, durch dessen Änderungen der Einwirkwinkel (α) veränderbar ist.

4. Zuspanneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, daß der Kraftezeuger (7) bei jedem einstellbaren Wert des Einwirkwinkels (α) an demselben Krafteinwirkungspunkt (18) auf den Hebel (1) einwirkt.
5. Zuspanneinrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß der veränderbare Kraftübertragungspunkt (6) entlang einer vorgegebenen Bahnkurve veränderbar ist.
6. Zuspanneinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Bahnkurve als Kontur (10) ausgebildet ist, auf der eine mit dem Hebel (1), insbesondere an dem Kraftübertragungspunkt (6), verbundene Translationseinrichtung (9) entlang bewegbar ist.
7. Zuspanneinrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Translationseinrichtung (9) ein Bestandteil der Mittel (9, 10, 13, 70, 71) zur Veränderung des Einwirkwinkels (α) ist.
8. Zuspanneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Hebel (1) in einem zulässigen Winkelbereich von einem vorgegebenen Minimalwert (Ω_{\min}), insbesondere dem Wert Null, bis zu einem vorgegebenen Maximalwert (Ω_{\max}) einstellbar ist.

9. Zuspanneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangskraft (F_A) auf eine zumindest zum Teil elastische Kraftaufnahmeeinrichtung (4, 5) einwirkt, welche infolge der Krafteinwirkung der Ausgangskraft (F_A) eine Gegenkraft (F_G) erzeugt.
10. Zuspanneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangsgröße über eine Eingangsgrößen/Kraft-Umsetzungseinrichtung (72, 73, 74) eine Eingangskraft (F_E) für die Zuspanneinrichtung erzeugt, welche bezüglich der von dem Krafterzeuger (7) auf den Hebel ausgeübten Kraftanteils (F_F) in Zuspännrichtung unterstützend wirkt.
11. Zuspanneinrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangsgrößen/Kraft-Umsetzungseinrichtung (72, 73, 74) über eine Einrichtung (70, 71) zur Veränderung der Winkellage (Ω) des Hebels auf den Hebel (1) einwirkt.
12. Zuspanneinrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (70, 71) zur Veränderung der Winkellage (Ω) des Hebels ein Bestandteil der Mittel (9, 10, 13, 70, 71) zur Veränderung des Einwirkwinkels (α) ist.

13. Zuspanneinrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangsgrößen/Kraft-Umsetzeinrichtung (72, 73, 74) ortsfest bezüglich der Kraftaufnahmeeinrichtung (4, 5) angeordnet ist.
14. Zuspanneinrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß in Ausfahrriichtung des Hebels (1) gegen die Kraftaufnahmeeinrichtung (4, 5) der Krafterzeuger (7) unterstützend wirkt, hingegen in Einfahrriichtung die Gegenkraft (F_G) wiederum unterstützend zur Rückstellung des Krafterzeugers (7) wirkt.
15. Zuspanneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens näherungsweise ein Energiegleichgewicht aus den durch die Größen Eingangskraft (F_E), den Hebel (1) ausgeübter Kraftanteils (F_F) des Krafterzeugers und Gegenkraft (F_G) erzeugten Energieanteilen hergestellt wird.
16. Zuspanneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Kraftaufnahmeeinrichtung (4, 5) Bestandteil einer Fahrzeugbremse ist.
17. Zuspanneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens an einem Ende des zulässigen Winkelbereichs (Ω_{\min})

ein mechanischer Anschlag vorgesehen ist, durch den eine definierte Endposition der Zuspanneinrichtung festgelegt ist.

18. Zuspanneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Hebel (1) bei Ausfall der Eingangsgröße und/oder der Eingangskraft (F_E) in eine definierte Winkelposition bewegbar ist.
19. Zuspanneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Hebel (1) mittels des von dem Krafterzeuger (7) darauf ausgeübten Kraftanteils (F_F) auch ohne Wirkung der Eingangskraft (F_E) in eine definierte Endposition bewegbar ist.
20. Zuspanneinrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Endposition einem Ende des zulässigen Winkelbereichs, insbesondere dem Minimalwert (Ω_{\min}), entspricht.
21. Zuspanneinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) zur steuerbaren Veränderung des Lüftspiels (Ω_{Ls}) der Bremse vorgesehen ist.
22. Elektrisch betätigbarer Bremsenaktuator für eine Fahrzeugbremse mit einer Zuspanneinrichtung nach

einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein mechanisch mit der Zuspanneinrichtung in Wirkverbindung stehender Elektroaktor vorgesehen ist, der bei Beaufschlagung mit elektrischen Signalen die Zuspanneinrichtung zu spannen und lösen kann.

23. Verfahren zur Einstellung einer Zuspannkraft bei einer Zuspanneinrichtung für eine Bremse nach Anspruch 1, mit einer Einstellung der Zuspannkraft gemäß einer Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}), wobei die Zuspanneinrichtung einen steuerbaren Aktuator zur Einstellung eines Zuspannwegs (Ω), über den infolge des Zuspannwegs (Ω) ein erster Zuspannkraft-Anteil (F_{Mot}) an die Bremse abgebar ist, sowie einen Krafterzeuger (7) zur Abgabe eines unterstützenden Zuspannkraft-Anteils (F_{Fe}), der in einer festgelegten Abhängigkeit zu dem Zuspannweg (Ω) steht, an die Bremse aufweist, wobei der Istwert (F_{Ist}) der an die Bremse abgegebenen Zuspannkraft aus dem ersten Zuspannkraft-Anteil (F_{Mot}) und dem unterstützenden Zuspannkraft-Anteil (F_{Fe}) berechnet wird und der Aktuator derart angesteuert wird, daß der Istwert (F_{Ist}) der Zuspannkraft der Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) entspricht.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Istwert (F_{Ist}) der an die Bremse abgegebenen Zuspannkraft nach Art einer Regelung an die Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) angeglichen wird.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß nach Einstellung der Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) während einer Haltephase der Zuspannkraft der erste Zuspannkraft-Anteil (F_{Mot}) um ein vorgegebenes Maß reduziert wird.
26. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß der unterstützende Zuspannkraft-Anteil (F_{Fe}) aus dem Zuspannweg (Ω) berechnet wird.
27. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß der Verlauf des unterstützenden Zuspannkraft-Anteils (F_{Fe}) über den Zuspannweg (Ω) nach einer nichtlinearen Funktion approximiert wird, insbesondere nach einem Polynom zweiten oder höheren Grades.
28. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Zuspannkraft-Anteil (F_{Mot}) aus dem Zuspannweg (Ω) berechnet wird.
29. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß der Verlauf des ersten Zuspannkraft-Anteils (F_{Mot}) über den Zuspannweg (Ω) nach einer nichtlinearen Funktion approximiert wird, insbesondere nach einem Polynom zweiten oder höheren Grades.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 23 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß der Aktuator als Elektroantrieb ausgebildet ist.
31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Zuspannkraft-Anteil (F_{Mot}) aus dem von dem Elektroantrieb aufgenommenen Strom (I_{Mot}) berechnet wird.
32. Verfahren nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Erfassung des von dem Elektroantrieb aufgenommenen Stroms (I_{Mot}) während einer Betätigung des Elektroantriebs permanent erfolgt.
33. Verfahren nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, daß für die Erfassung des von dem Elektroantrieb aufgenommenen Stroms (I_{Mot}) der Elektroantrieb während einer Zuspannbewegung periodisch angehalten wird, der Istwert (F_{Ist}) der Zuspannkraft ermittelt wird und bei Nichterreichen der Sollwert-Vorgabe (F_{Soll}) der Elektroantrieb erneut betätigt wird.
34. Verfahren zur Steuerung eines Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) nach Anspruch 21 für eine Bremse eines Fahrzeugs, dadurch gekennzeichnet, daß ein Lüftspiel-Management zur übergeordneten Steuerung von Teilfunktionen des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97)

vorgesehen ist, wobei die Teilfunktionen wenigstens eine der Funktionen

- a) Variation des Kennlinienverlaufs der Eingangskraft (F_E) über den Zuspannweg (Ω),
- b) Erkennung des maximal verfügbaren Lüftspiels (W),
- c) Auswahl einer Betriebsart der Bremse mit Hilfe des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) aus einer Anzahl vorbestimmter Betriebsarten (240, 241, 242, 243, 244, 245)

umfassen.

- 35. Verfahren nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß der Kennlinienverlauf der Eingangskraft (F_E) über den Zuspannweg (Ω) durch Einstellung des Lüftspiels (Ω_{Ls}) mittels Steuerung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) an einen erwünschten Kennlinienverlauf angenähert wird.
- 36. Verfahren nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Steuerung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) der Kennlinienverlauf zwischen einer selbstlösenden und einer selbstschließenden Charakteristik der Bremse variierbar ist.

37. Verfahren nach Anspruch 35 oder 36, dadurch gekennzeichnet, daß eine iterative Einstellung des Lüftspiels (Ω_{Ls}) vorgenommen wird, derart, daß das Lüftspiel schrittweise solange variiert wird, bis die Abweichung zwischen dem eingestellten Kennlinienverlauf und dem erwünschten Kennlinienverlauf einen vorbestimmten Wert unterschreitet.
38. Verfahren nach einem der Ansprüche 35 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß eine Verstellung des Lüftspiels (Ω_{Ls}) unmittelbar nach einer Bremsung oder nach einem Zuspännvorgang oder in einer Betriebsphase, in der keine Bremsung zu erwarten ist, durchgeführt wird.
39. Verfahren nach einem der Ansprüche 35 bis 38, dadurch gekennzeichnet, daß mittels des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) eine Zuspännkraft und infolgedessen eine Bremskraft erzeugbar ist.
40. Verfahren nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Ausfall oder einer Störung des Zuspänn-Aktuators oder Teilen davon wenigstens ein Teil der Bremskraft von dem Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) erzeugt wird.
41. Verfahren nach Anspruch 39 oder 40, dadurch gekennzeichnet, daß die von dem Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) erzeugbare Bremskraft

wenigstens 20 Prozent der von dem Zuspänn-Aktuator erzeugbaren Bremskraft entspricht.

42. Verfahren nach einem der Ansprüche 35 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß zur Auswahl eines gewünschten Kennlinienverlaufs die Häufigkeit und/oder die Intensität von vorhergehenden Bremsungen ausgewertet wird.
43. Verfahren nach einem der Ansprüche 35 bis 42, dadurch gekennzeichnet, daß zur Auswahl eines gewünschten Kennlinienverlaufs der aktuelle gemessene Kennlinienverlauf ausgewertet wird, insbesondere hinsichtlich Krümmung, Maximalwert, Amplitude und/oder Hysterese.
44. Verfahren nach einem der Ansprüche 35 bis 43, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von gemessenen Kennlinienverläufen gespeichert wird und zur Auswahl eines gewünschten Kennlinienverlaufs die Änderungen der gespeicherten Kennlinienverläufe ausgewertet werden.
45. Verfahren nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß das maximal verfügbare Lüftspiel (W) durch einen festgelegten Betätigungszyklus des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) ermittelt wird.

46. Verfahren nach Anspruch 45, dadurch gekennzeichnet, daß das maximal verfügbare Lüftspiel (W) durch eine Betätigung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) ausgehend von dessen Nullposition bis zum Anlegen der eine Bremsung bewirkenden Teile aneinander, insbesondere der Bremsbeläge (40, 42) an die Bremsscheibe (50) bzw. Bremstrommel, ermittelt wird.
47. Verfahren nach Anspruch 45 oder 46, dadurch gekennzeichnet, daß die zurückgelegte Wegstrecke eines beweglichen Teils des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97), insbesondere die von einem als Antrieb verwendeten Verstellmotor (90) zurückgelegte Drehwinkeländerung, als ein Maß für das maximal verfügbare Lüftspiel (W) ermittelt wird.
48. Verfahren nach Anspruch 46 oder 47, dadurch gekennzeichnet, daß das Anlegen der eine Bremsung bewirkenden Teile aneinander mittels einer Auswertung der von dem Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) abgegebenen Kraft, des Drehmoments oder des aufgenommenen Stroms ermittelt wird.
49. Verfahren nach Anspruch 47, dadurch gekennzeichnet, daß der Lüftspiel-Aktuator (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) ausgehend von der Nullposition für eine vorbestimmte Zeit betätigt wird und die nach Ablauf der vorbestimmten Zeit zurückgelegte Wegstrecke als

ein Maß für das maximal verfügbare Lüftspiel (W) ermittelt wird.

50. Verfahren nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß für die Steuerung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) wenigstens zwei Betriebsarten (240, 241, 242, 243, 244, 245) vorgesehen sind und die Auswahl der jeweiligen Betriebsart aufgrund von Zeitbedingungen und/oder Betriebsbedingungen des Zuspänn-Aktuators und/oder der Bremse erfolgt.
51. Verfahren nach Anspruch 50, dadurch gekennzeichnet, daß für die Steuerung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) wenigstens eine der Betriebsarten Diagnosebetrieb (241), normaler Fahrbetrieb (243), extremer Fahrbetrieb (244), Parkbremsbetrieb (245) und Fehlerbetrieb (242) vorgesehen ist.
52. Verfahren nach Anspruch 51, dadurch gekennzeichnet, daß der Diagnosebetrieb (241) nach der Inbetriebnahme des Fahrzeuges, insbesondere nach dem Einschalten der Zündung, automatisch durchgeführt wird.
53. Verfahren nach Anspruch 51 oder 52, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Diagnosebetrieb (241) ein Zuspännen der Bremse durch den Zuspänn-Aktuator unterdrückt wird.

54. Verfahren nach einem der Ansprüche 51 bis 53, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Diagnosebetrieb (241) eine iterative Einstellung des Lüftspiels (Ω_{Ls}) vorgenommen wird, derart, daß das Lüftspiel (Ω_{Ls}) schrittweise solange variiert wird, bis der Kennlinienverlauf in einem den erwünschten Kennlinienverlauf umgebenden Bereich liegt.
55. Verfahren nach einem der Ansprüche 51 bis 54, dadurch gekennzeichnet, daß als Unterscheidungskriterium für den extremen Fahrbetrieb (244) von dem normalen Fahrbetrieb (243) die Temperatur wenigstens eines Bremsenteils, insbesondere eines Bremsbelags, bzw. die Überschreitung eines Temperatur-Grenzwerts verwendet wird.
56. Verfahren nach Anspruch 55, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur mittels eines Temperaturmodells rechnerisch aus den Betätigungszeiten der Bremse ermittelt wird.
57. Verfahren nach einem der Ansprüche 51 bis 56, dadurch gekennzeichnet, daß als Unterscheidungskriterium für den extremen Fahrbetrieb (244) von dem normalen Fahrbetrieb (243) eine Verringerung des Lüftspiels (Ω_{Ls}) verwendet wird.
58. Verfahren nach einem der Ansprüche 51 bis 57, dadurch gekennzeichnet, daß in dem extremen Fahrbe-

trieb (244) ein Alarmsignal aktiviert wird, insbesondere eine Warnlampe.

59. Verfahren nach einem der Ansprüche 51 bis 58, dadurch gekennzeichnet, daß der Parkbremsbetrieb (245) automatisch erkannt wird, wenn die Dauer einer Bremsung mit einer im wesentlichen gleichbleibenden, einen Mindestwert überschreitenden Zuspannkraft einen Zeitdauer-Grenzwert überschreitet.
60. Verfahren nach einem der Ansprüche 51 bis 59, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Steuerung des Lüftspiel-Aktuators (90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97) der Kennlinienverlauf zwischen einer selbstlösenden und einer nicht selbstlösenden Charakteristik der Bremse variierbar ist und in dem Parkbremsbetrieb (245) die nicht selbstlösende Charakteristik der Bremse eingestellt wird.
61. Verfahren nach einem der Ansprüche 51 bis 60, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangskraft (F_E) in dem Parkbremsbetrieb (245) reduziert oder abgeschaltet wird.
62. Verfahren nach einem der Ansprüche 34 bis 61, dadurch gekennzeichnet, daß für die eine Ermittlung des aktuell vorliegenden Lüftspiels (Ω_{Ls}) derjenige Punkt des Kennlinienverlaufs der Eingangskraft (F_E) über den Zuspannweg (Ω) bestimmt wird, an dem ein vorgegebener Anstieg der Eingangskraft (F_E) erfolgt.

63. Verfahren zur Ermittlung einer Zuordnung zwischen der Bewegungsrichtung des Elektroaktuators und der Bewegungsrichtung der mechanisch mit dem Elektroaktor in Wirkverbindung stehenden Zuspanneinrichtung in dem elektrisch betätigbaren Bremsenaktor nach Anspruch 22, mit folgenden Schritten:

- a) Beaufschlagung des Elektroaktuators mit einem vorgegebenen Prüfzyklus, in welchem der Elektroaktor in einer ersten Bewegungsrichtung ("A") bewegt wird,
- b) Überprüfung, ob durch die Betätigung des Elektroaktuators in der ersten Bewegungsrichtung ("A") die Zuspanneinrichtung eine Bewegung in Spannrichtung ausführt,
- c) Speicherung der Zuordnung zwischen der ersten Bewegungsrichtung ("A") des Elektroaktuators und der Spannrichtung, wenn die Zuspanneinrichtung eine Bewegung in Spannrichtung ausführt,
- d) Speicherung der Zuordnung zwischen einer zweiten Bewegungsrichtung ("B") des Elektroaktuators und der Spannrichtung, wenn die Zuspanneinrichtung keine Bewegung in Spannrichtung ausführt.

64. Verfahren nach Anspruch 63, dadurch gekennzeichnet, daß der Prüfzyklus derart bemessen ist, daß das Bremsenlüftspiel durch eine eventuell ausgeführte Zuspännbewegung nicht überwunden werden kann.
65. Verfahren nach einem der Ansprüche 63 bis 64, dadurch gekennzeichnet, daß das Zuordnungsverfahren automatisch ausgeführt wird, wenn keine der möglichen Zuordnungen ("A", "B") bereits gespeichert ist.
66. Verfahren nach einem der Ansprüche 63 bis 65, dadurch gekennzeichnet, daß zur Verifizierung der gespeicherten Zuordnung der Elektroaktuator im Rahmen eines zweiten Prüfzyklus in der zweiten Bewegungsrichtung ("B") betätigt wird und dabei beobachtet wird, welche Bewegung die Zuspänneinrichtung ausführt.
67. Verfahren nach einem der Ansprüche 63 bis 66, dadurch gekennzeichnet, daß der Prüfzyklus und/oder der zweite Prüfzyklus eine Begrenzung der Betätigungszeit (T) und/oder des Betätigungsstroms (I) des Elektroaktuators beinhalten.
68. Verfahren nach einem der Ansprüche 63 bis 67, dadurch gekennzeichnet, daß die Überschreitung eines Stromgrenzwerts (I_{Grenz}) des Betätigungsstroms (I) als Indiz dafür verwendet wird, daß die Zuspännein-

richtung keine Bewegung in Zuspännrichtung aus-
führt.

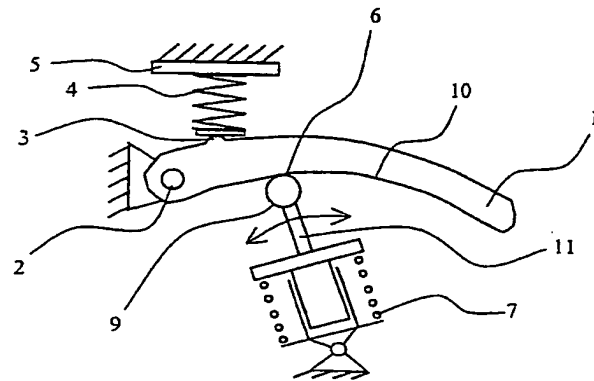


Fig. 1

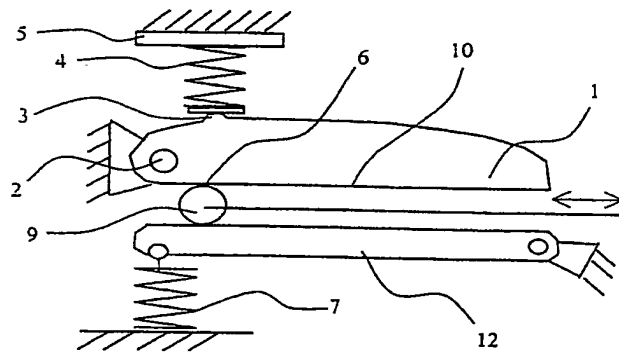


Fig. 2

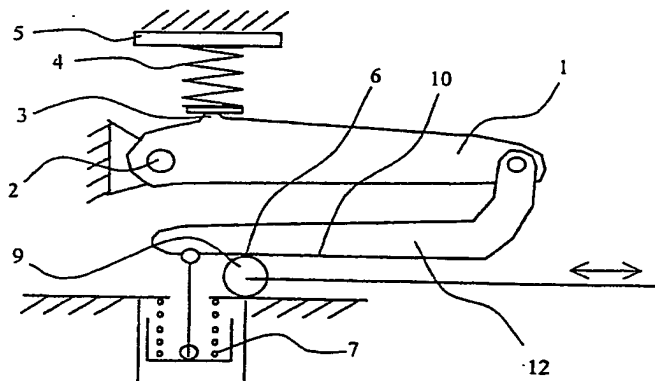
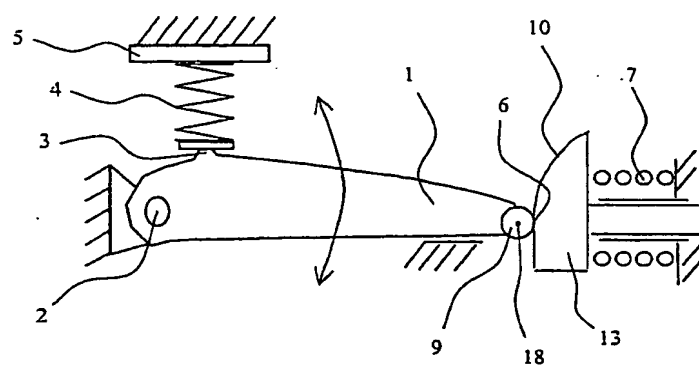
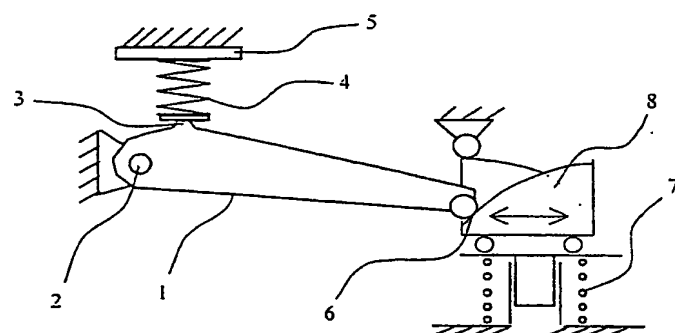
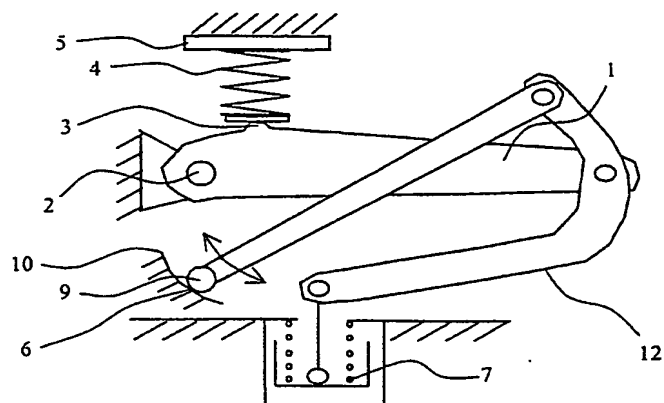


Fig. 3



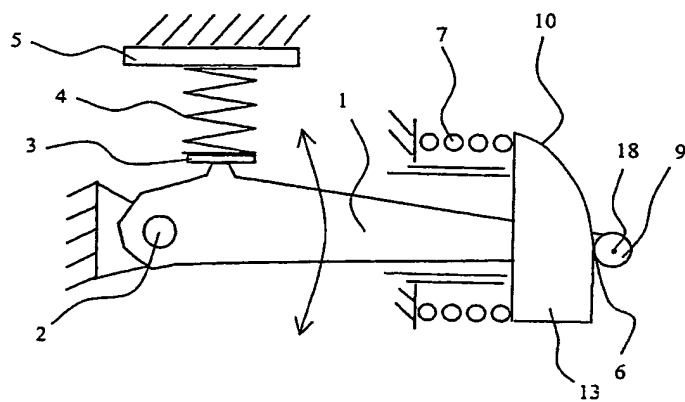


Fig. 7

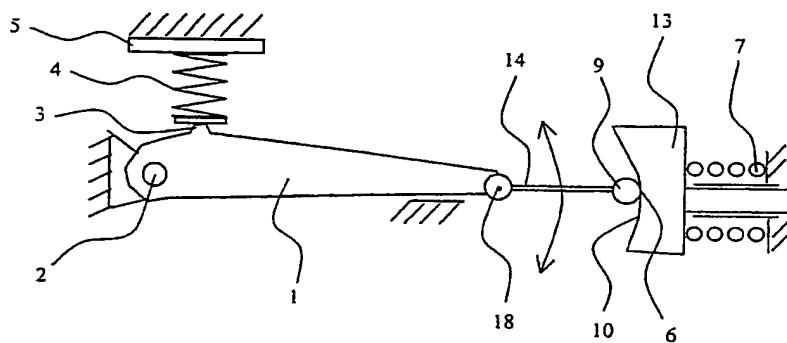


Fig. 8

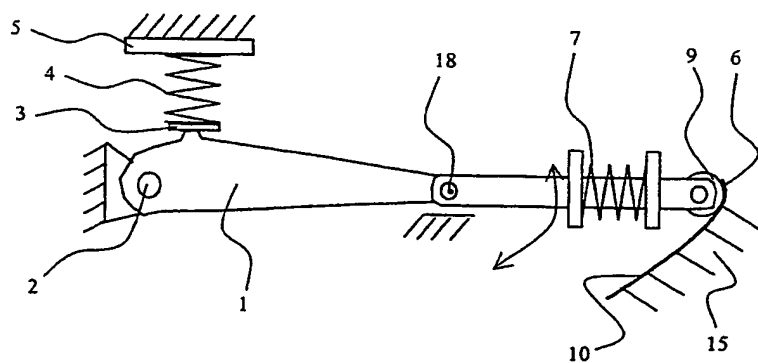


Fig. 9

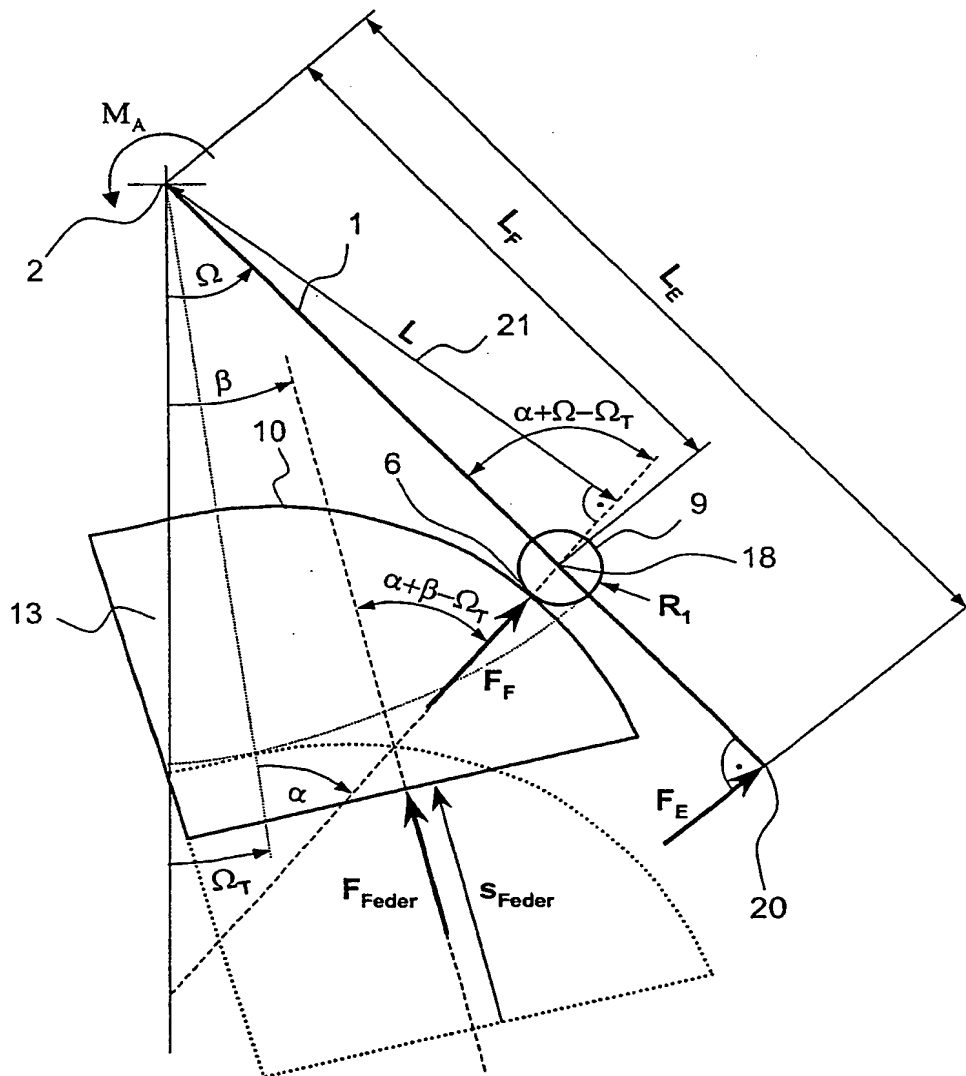


Fig. 10

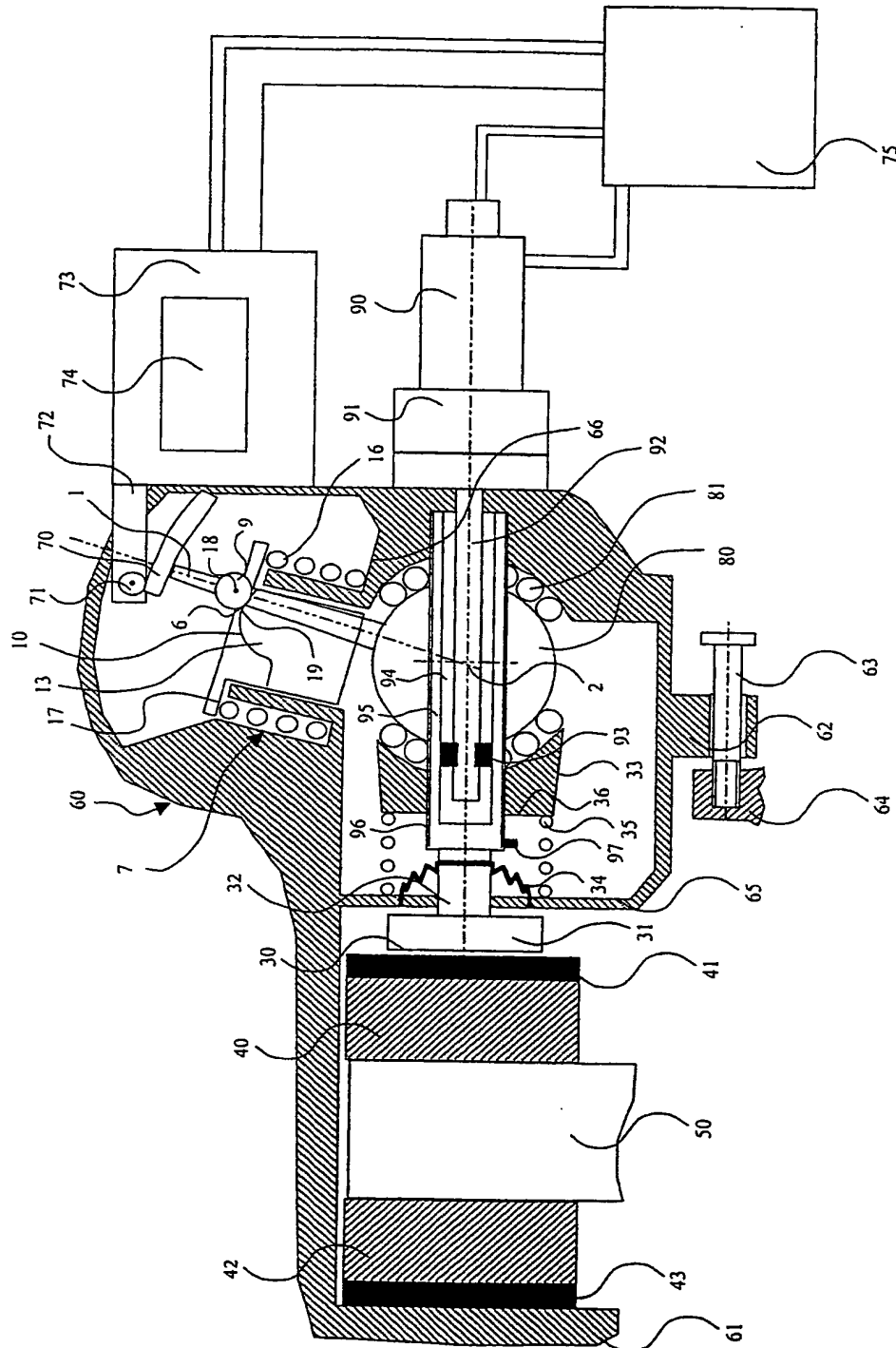


Fig. 11

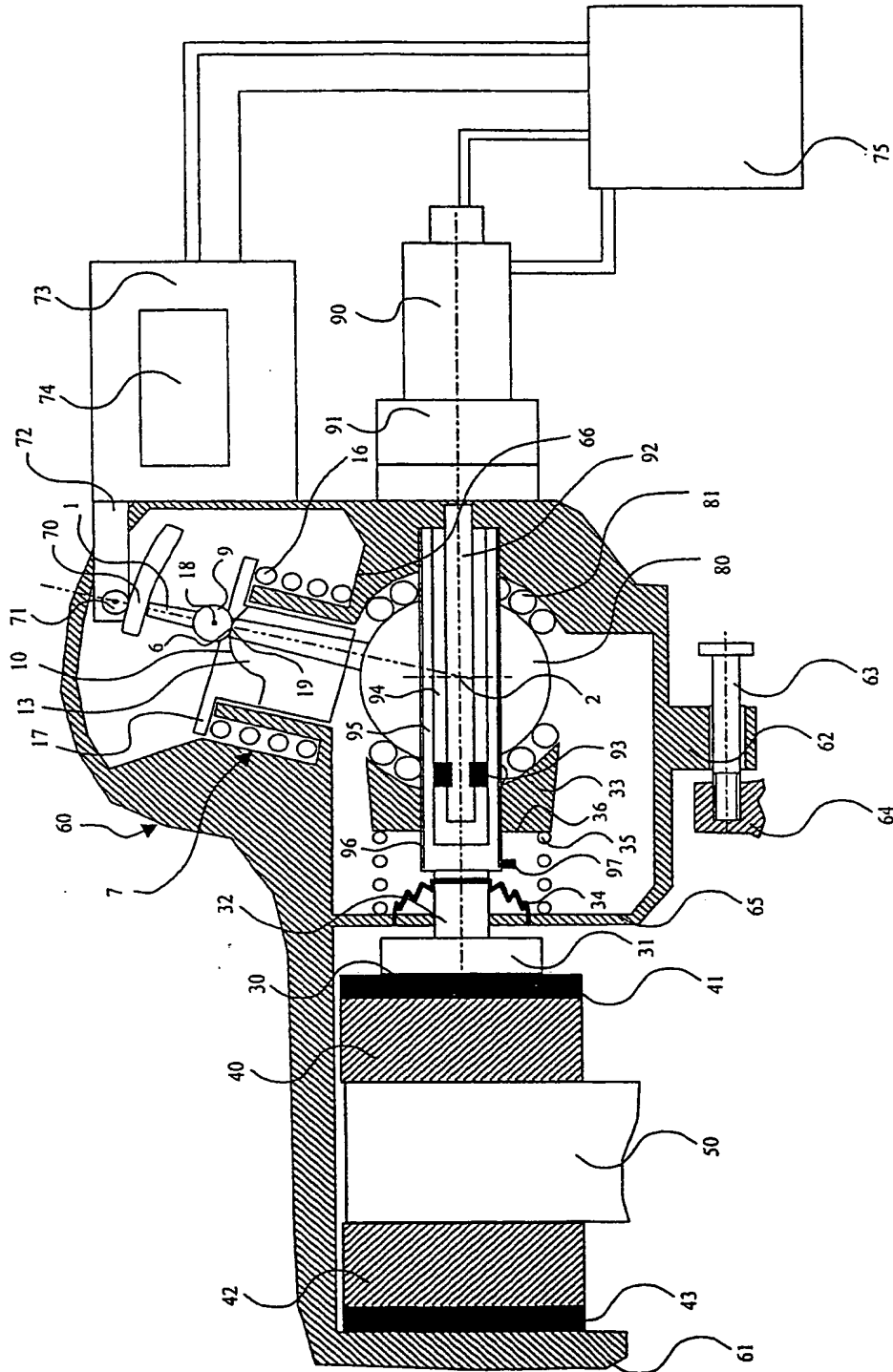


Fig. 12

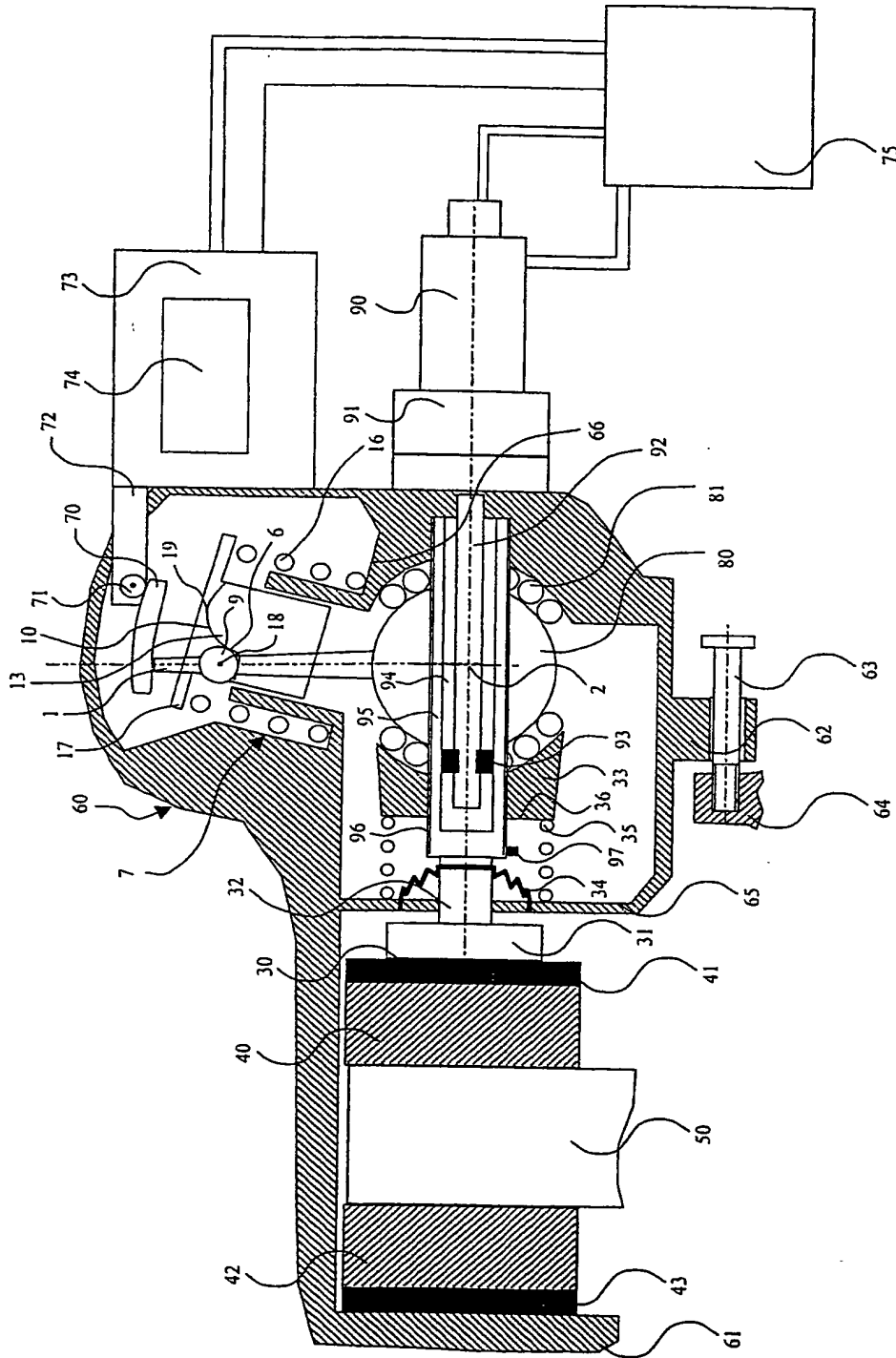


Fig. 13

ERSATZBLATT (REGEL 26)

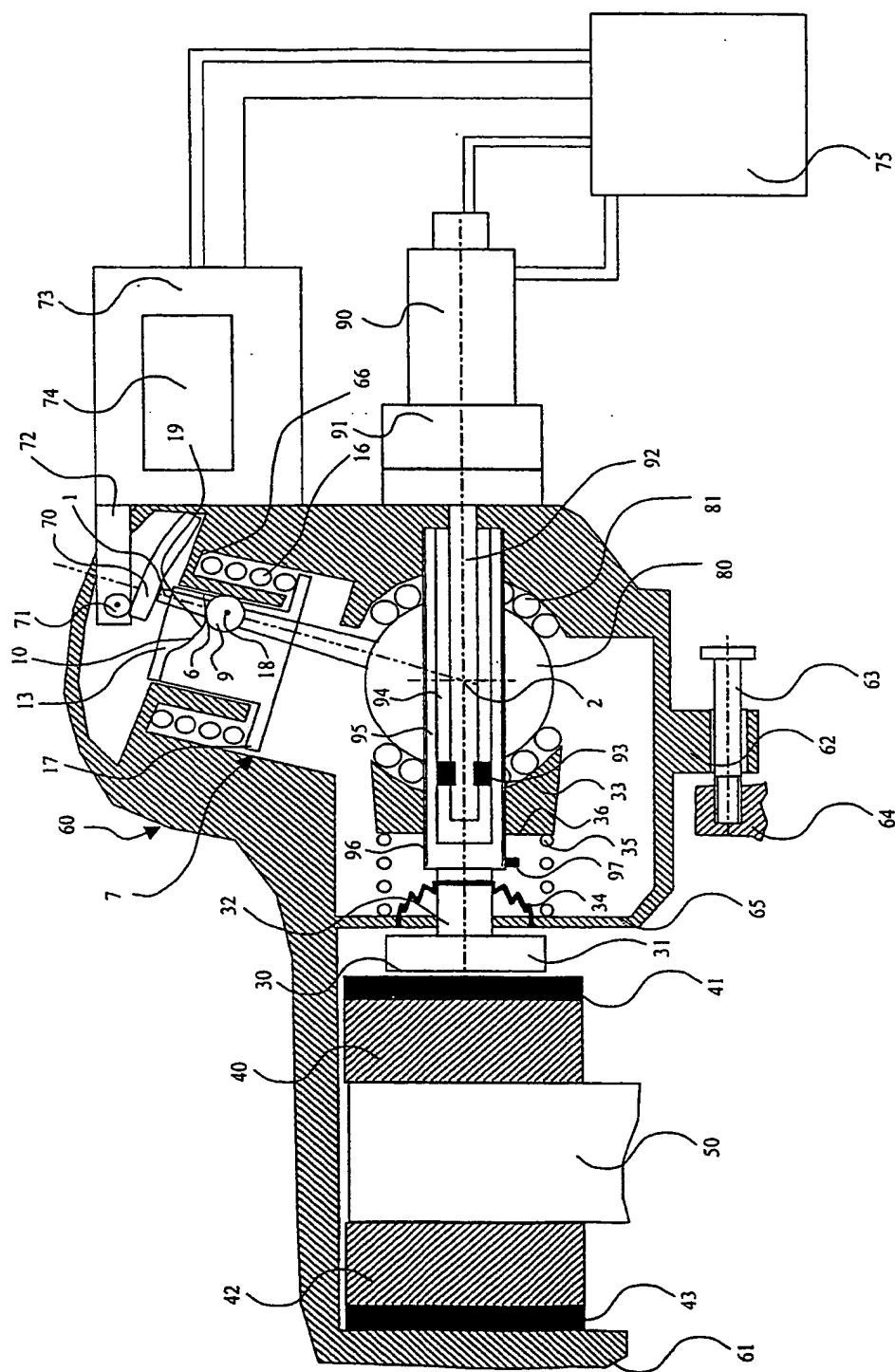


Fig. 14

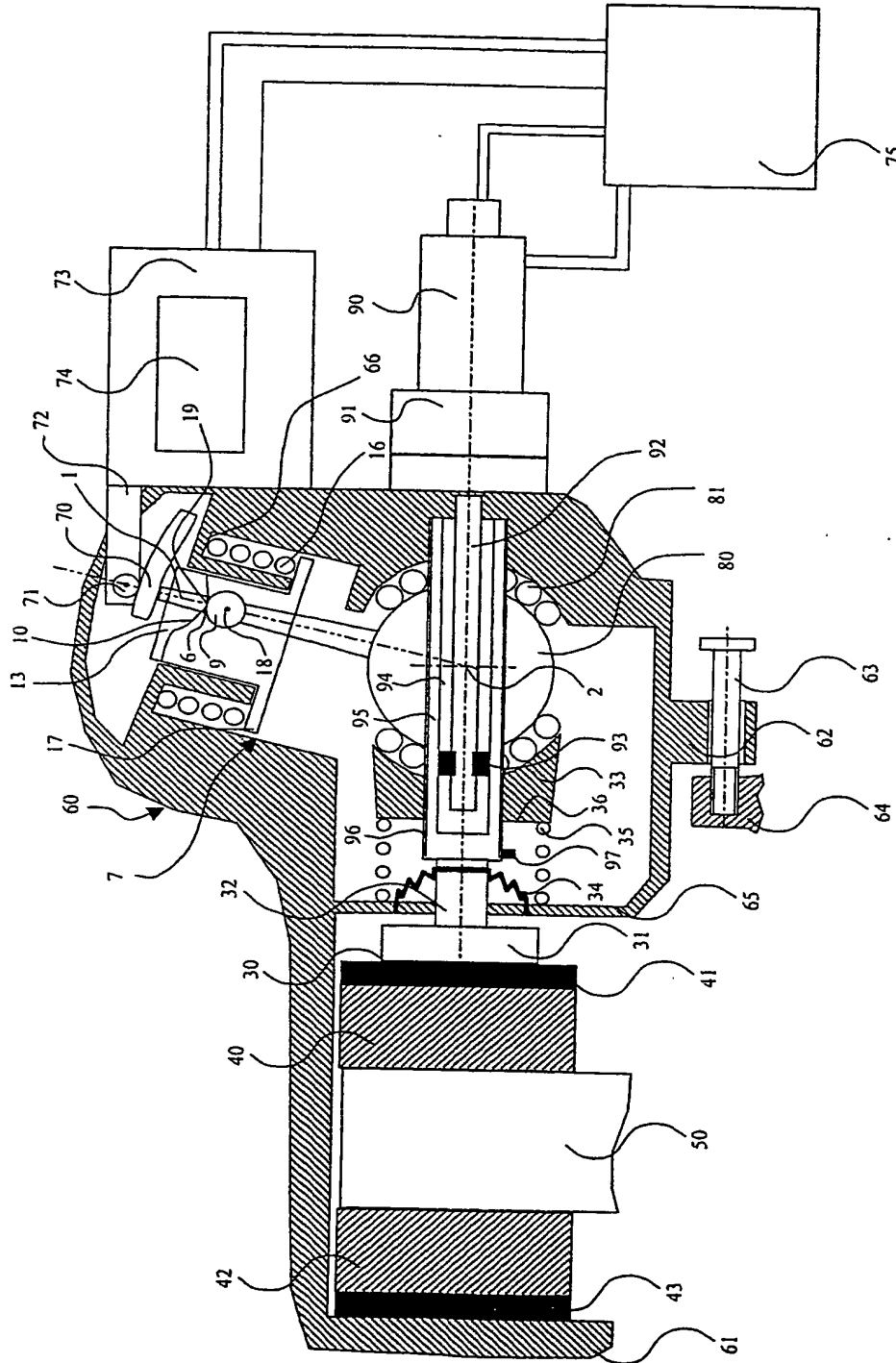


Fig. 15

10/23

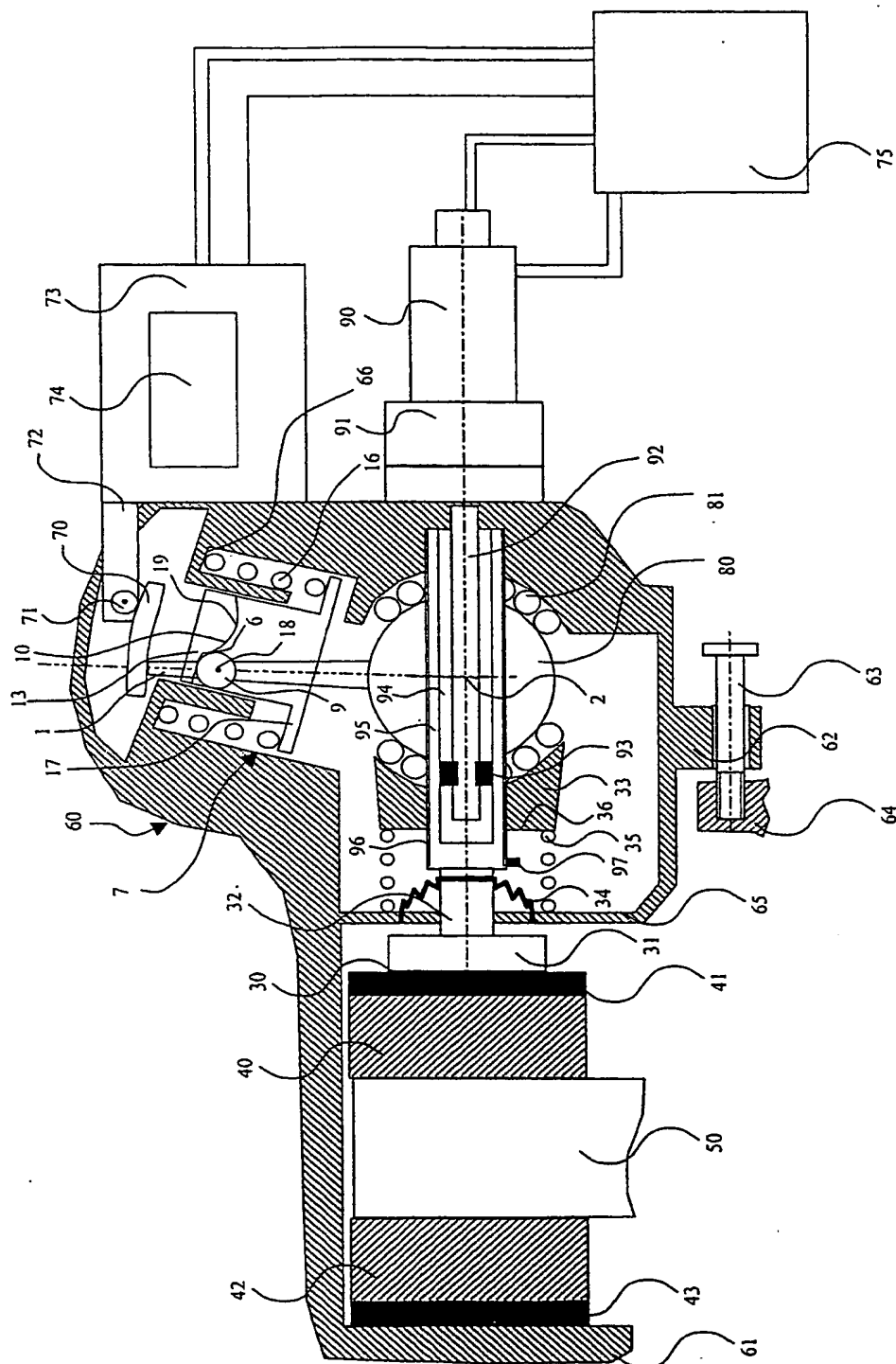


Fig. 16

11/23

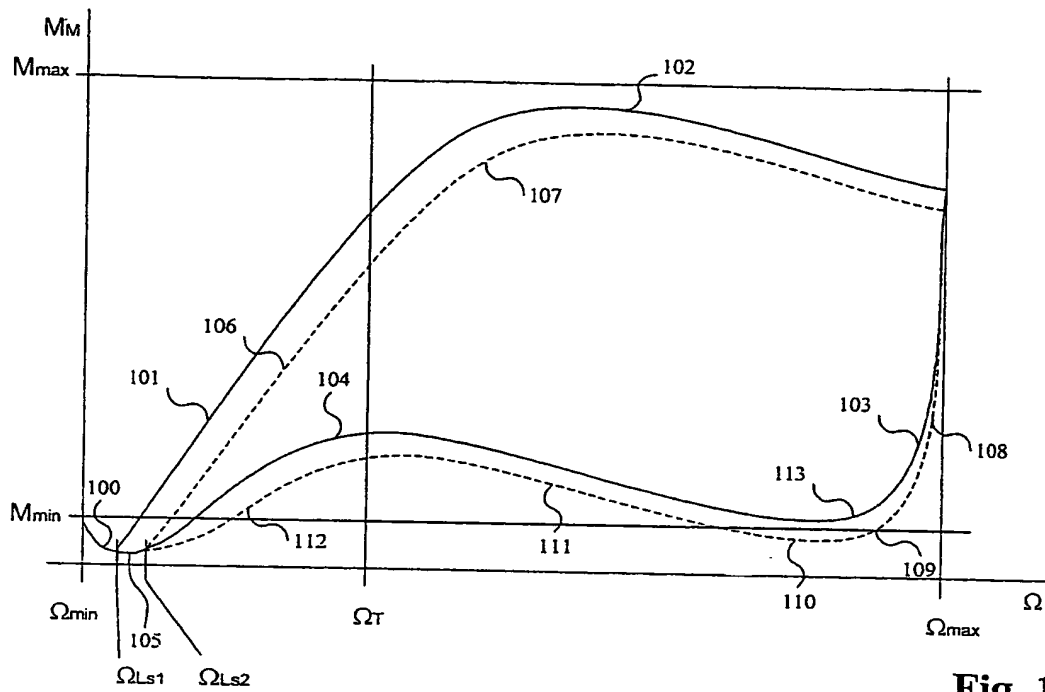


Fig. 17

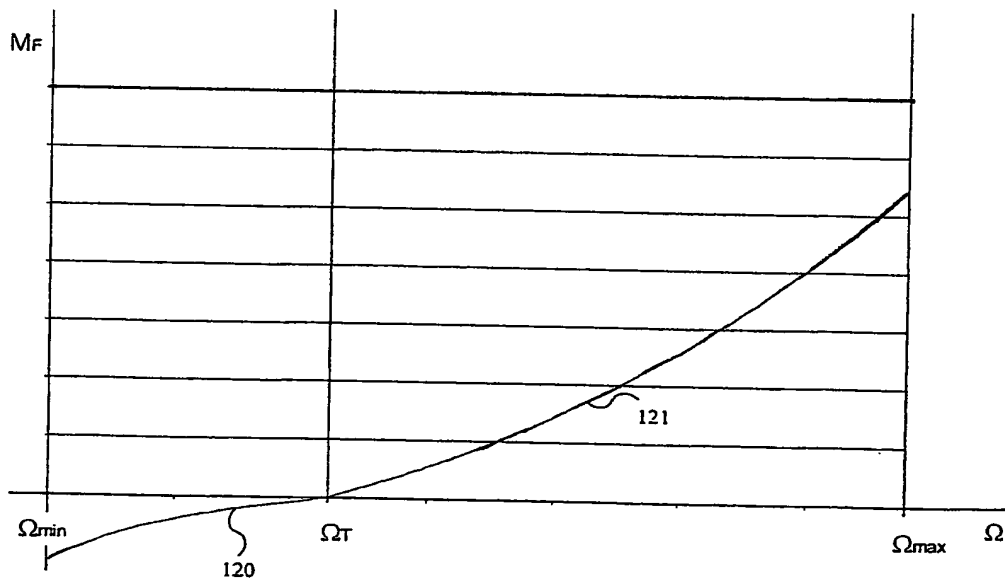


Fig. 18

12/23

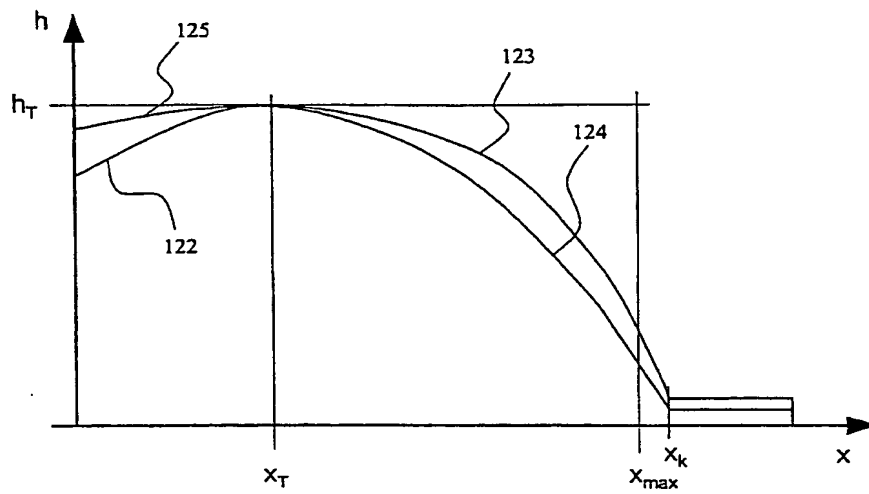


Fig. 19

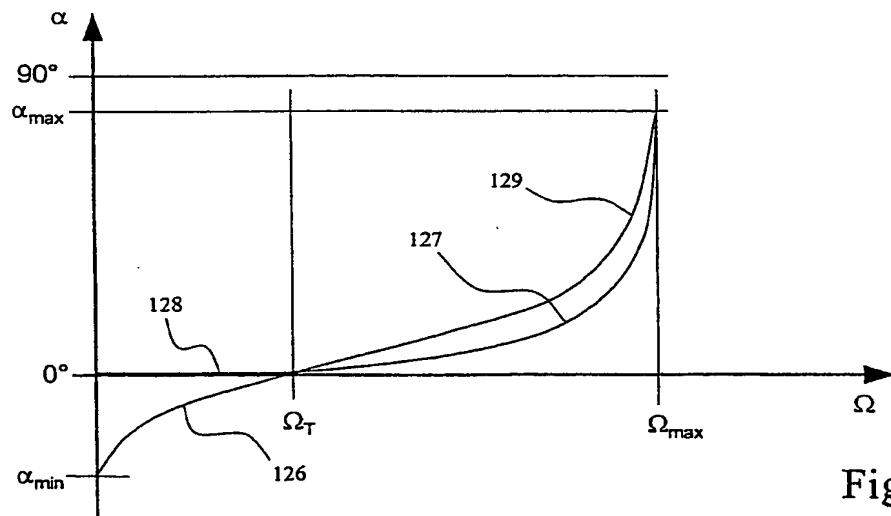


Fig. 20

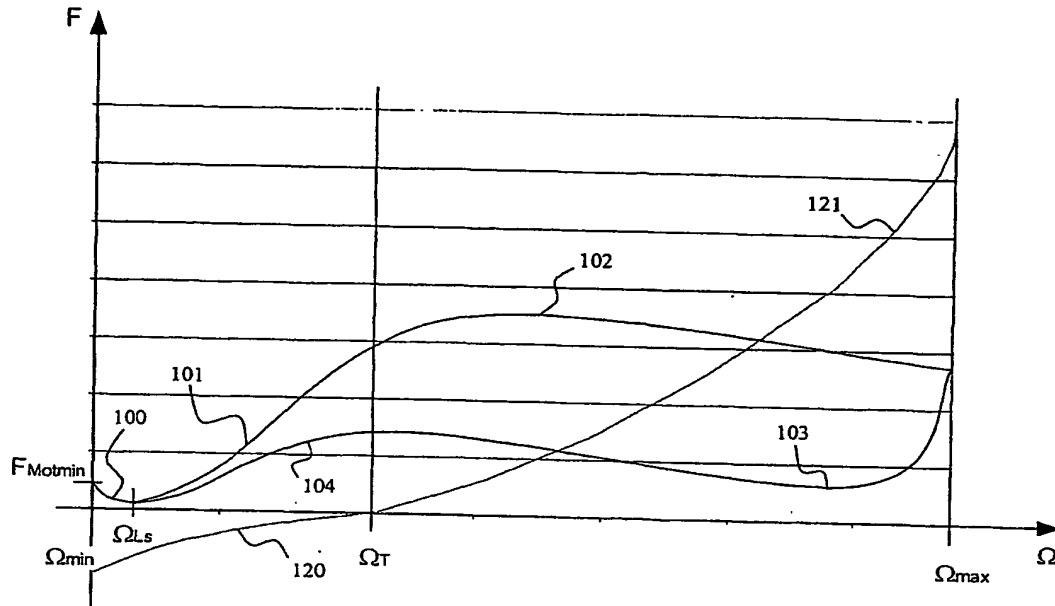


Fig. 21

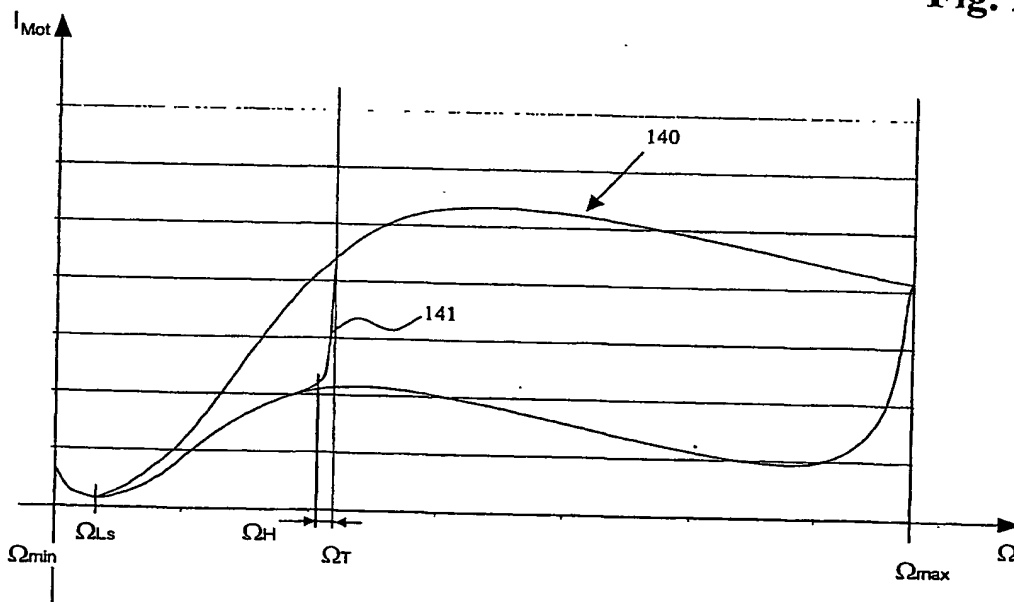


Fig. 22

14/23

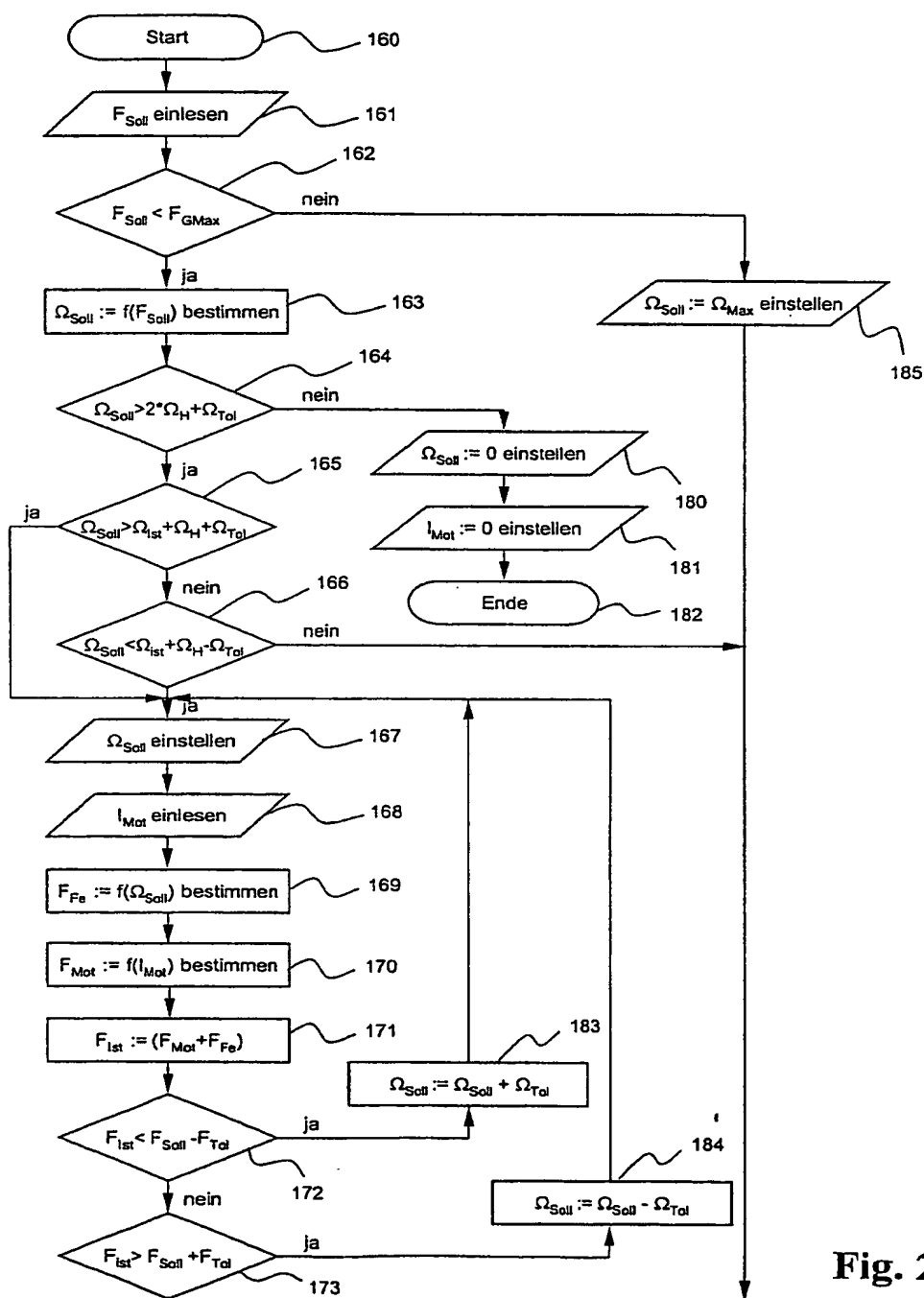


Fig. 23

15/23

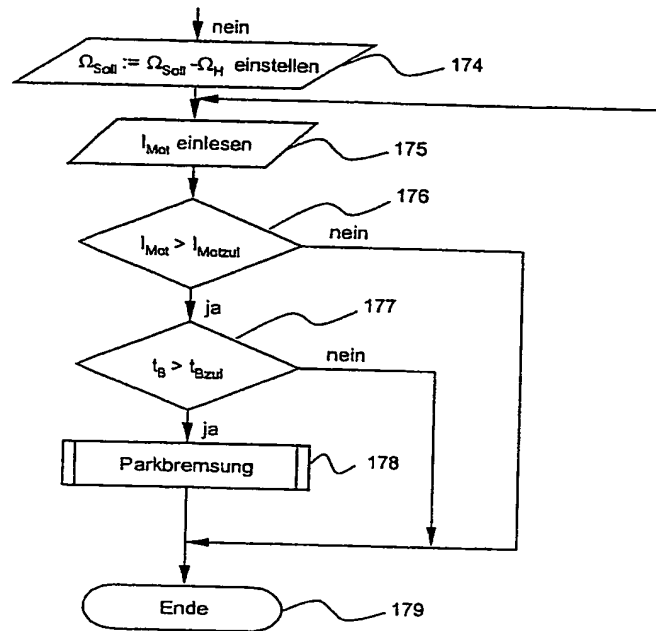


Fig. 24

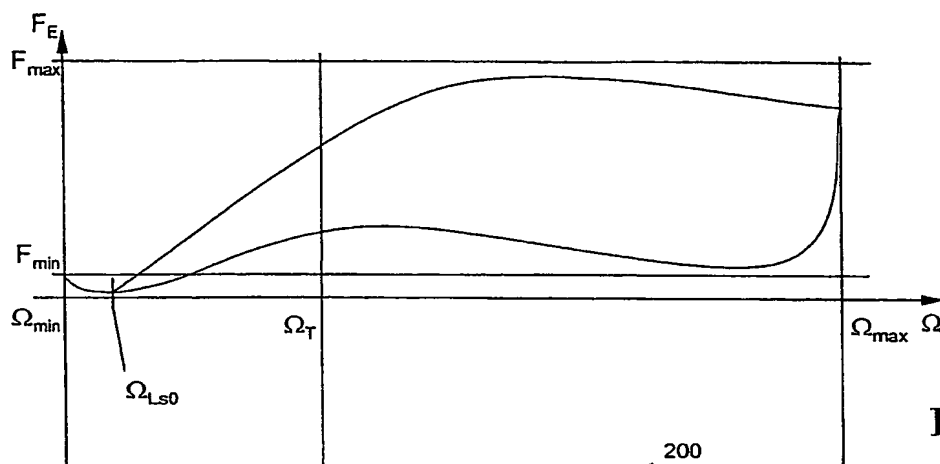


Fig. 25

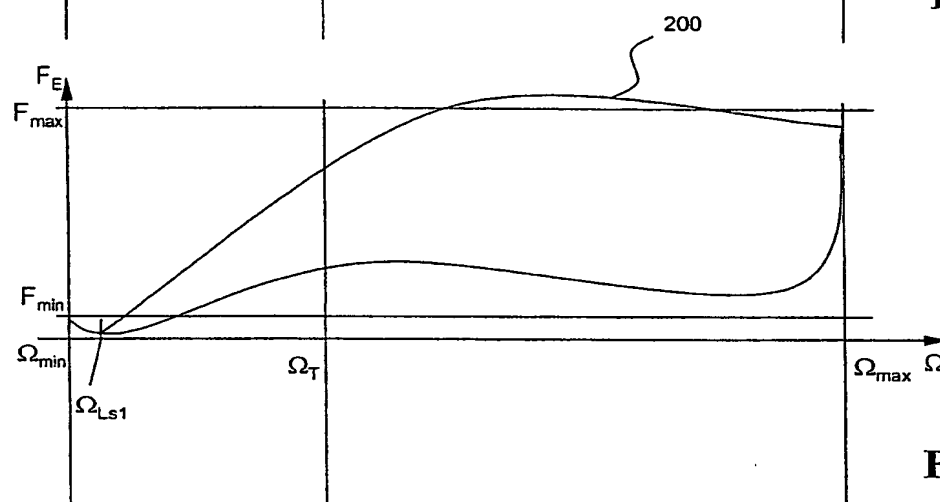


Fig. 26

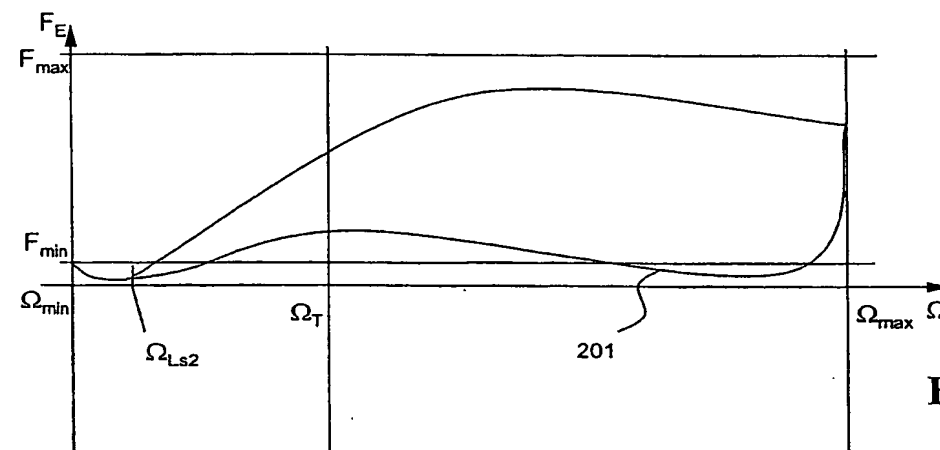


Fig. 27

17/23

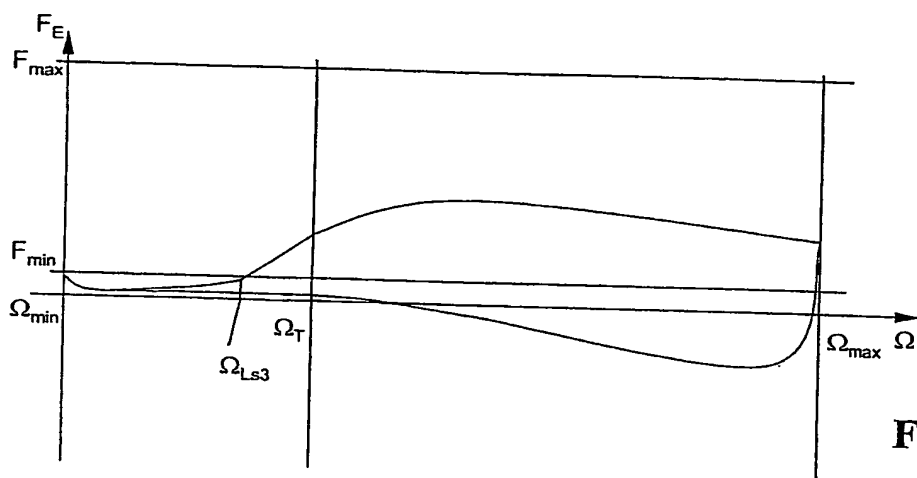


Fig. 28

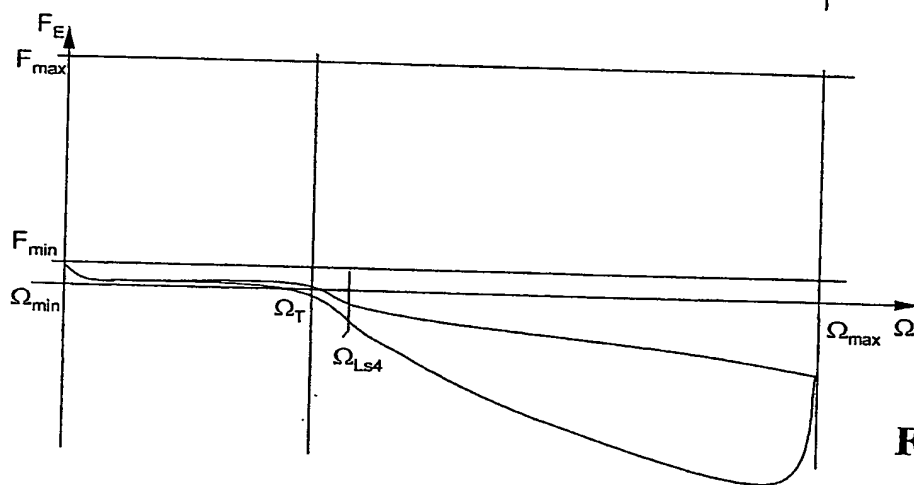


Fig. 29

18/23

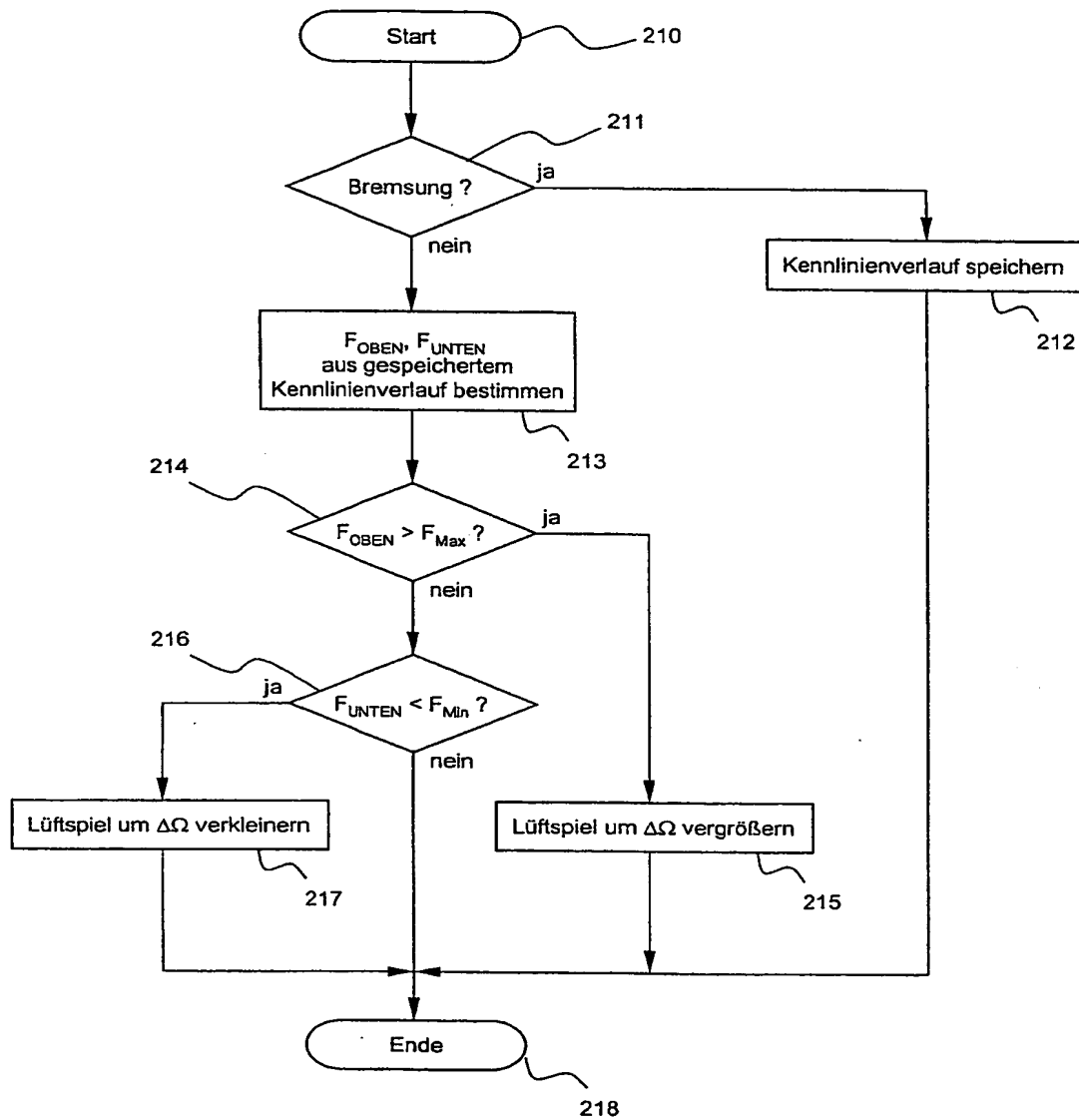


Fig. 30

19/23

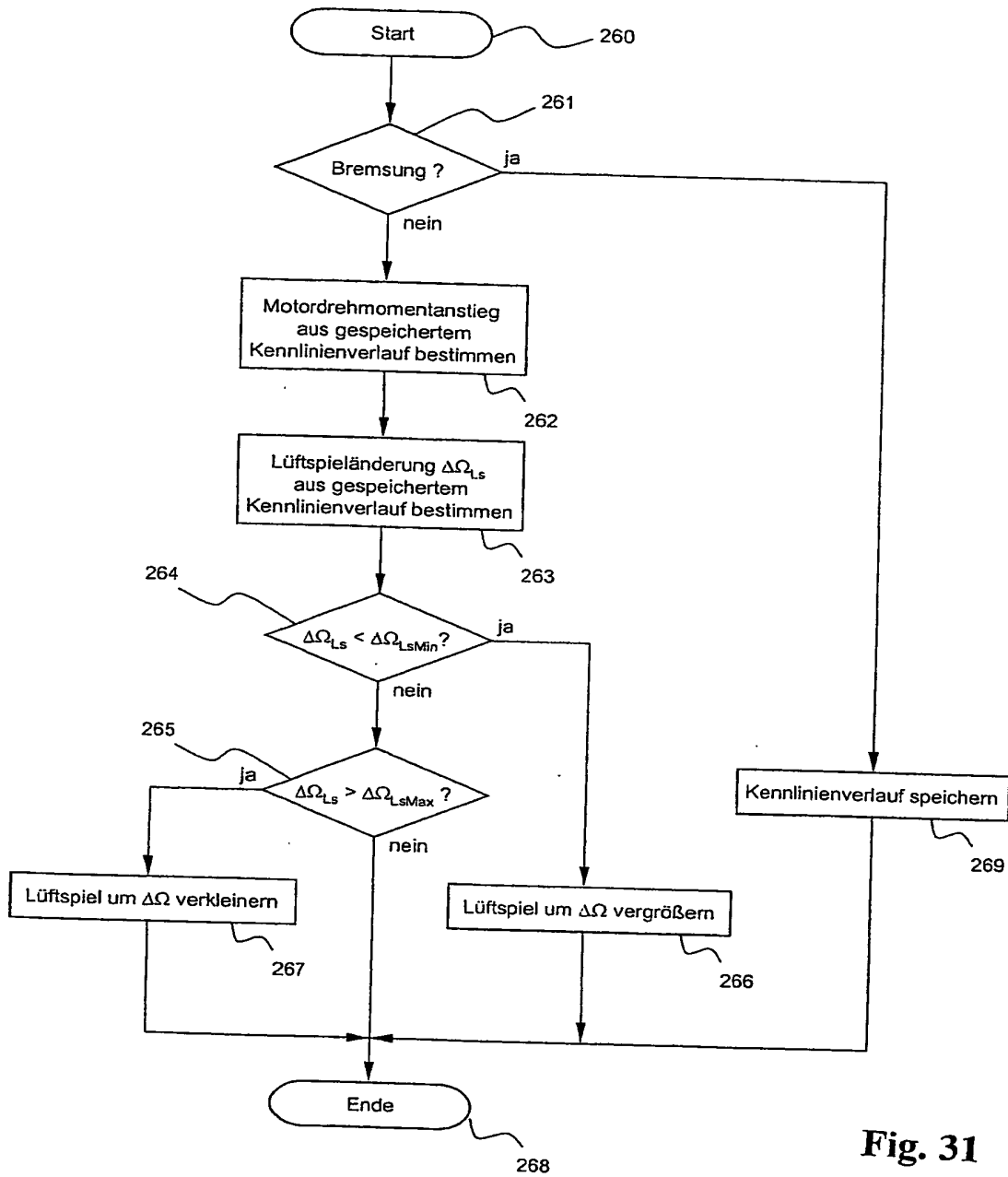


Fig. 31

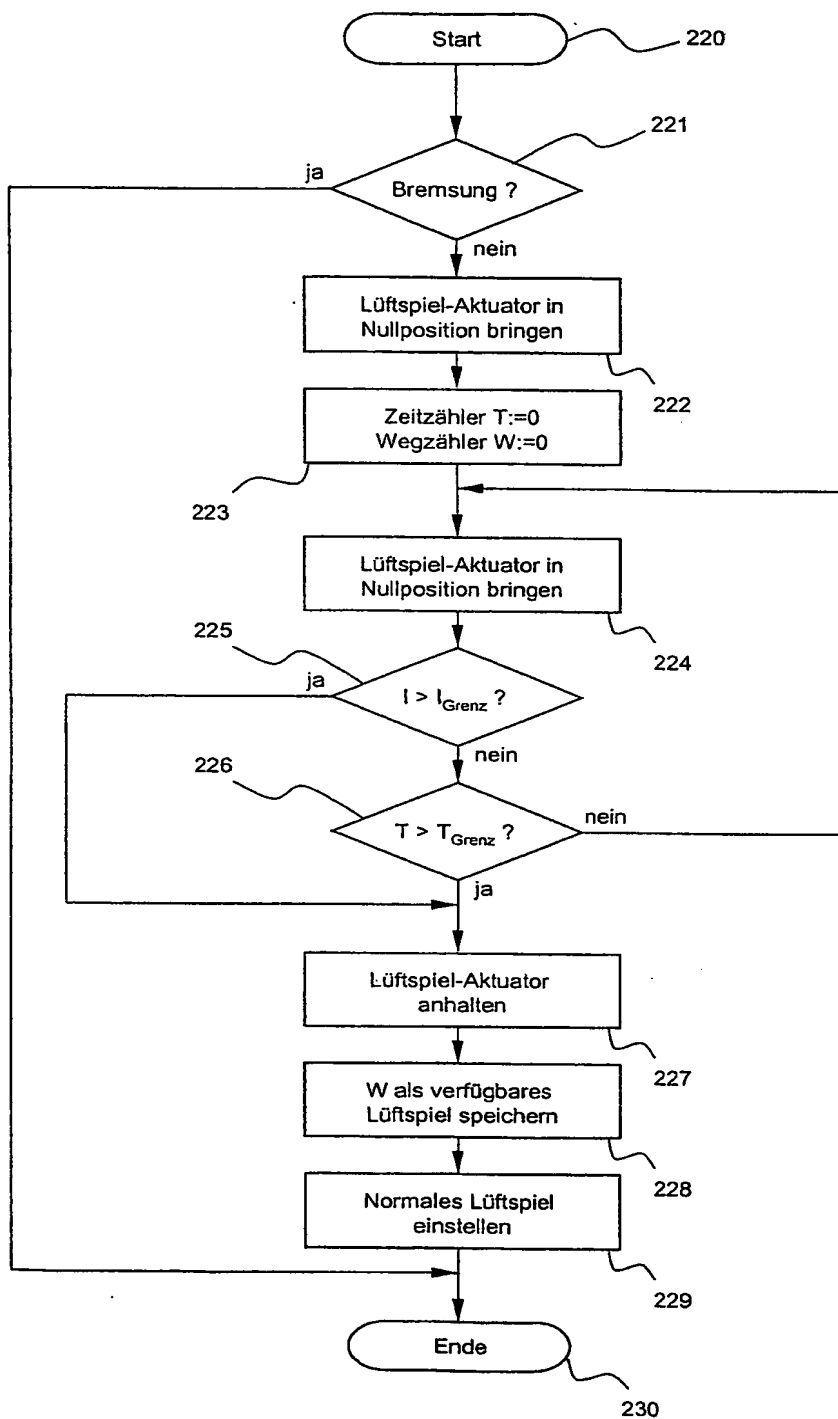


Fig. 32

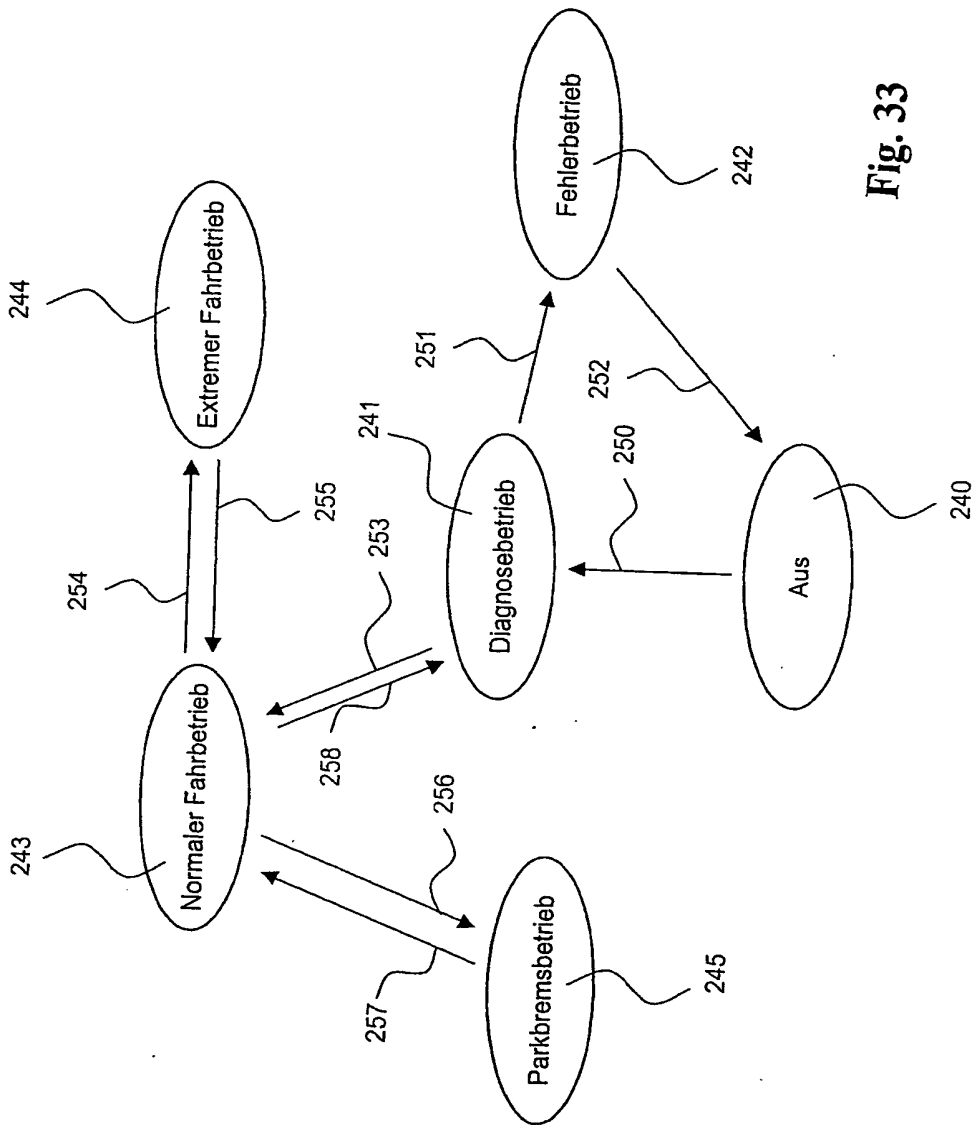


Fig. 33

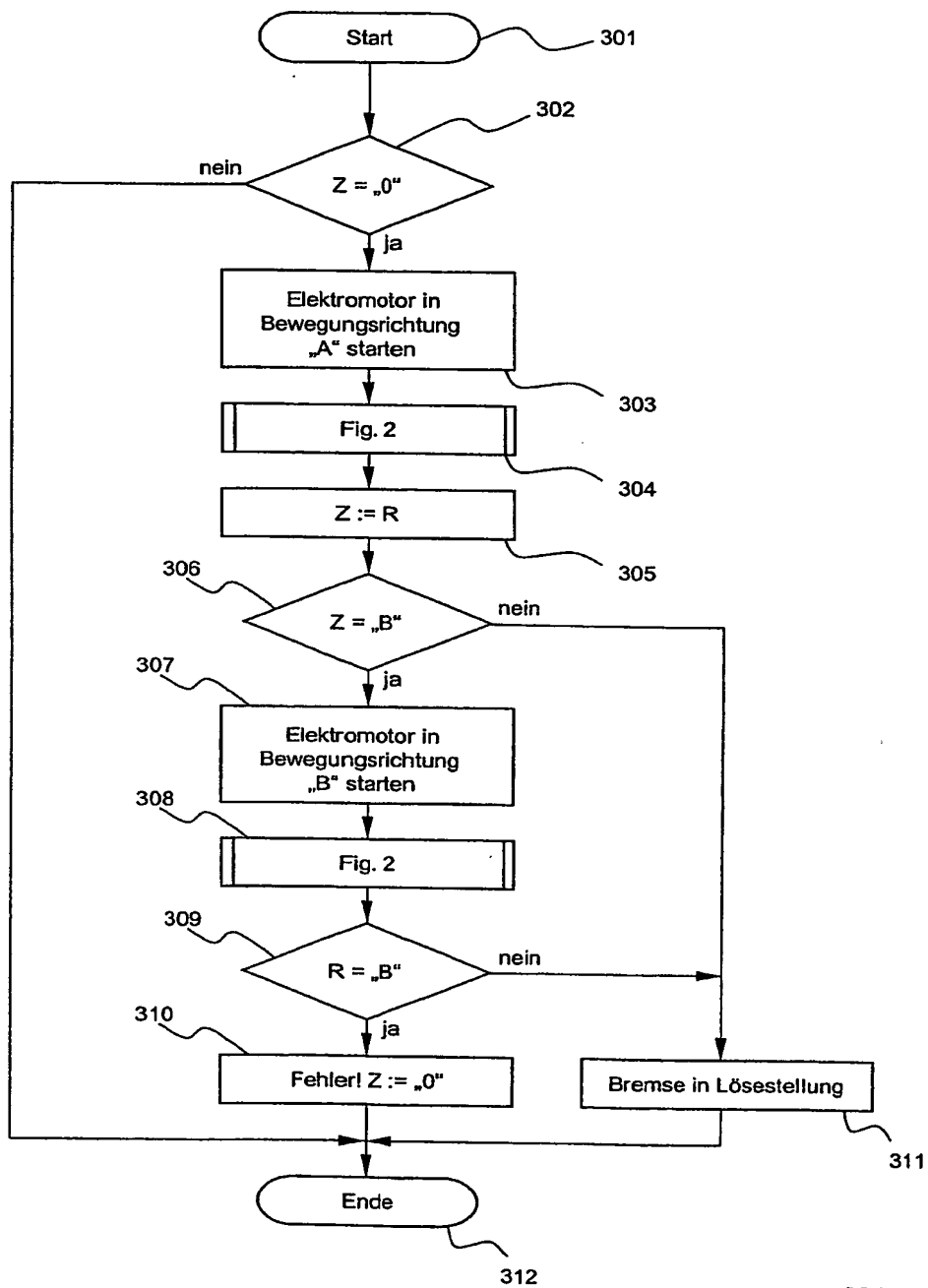


Fig. 34

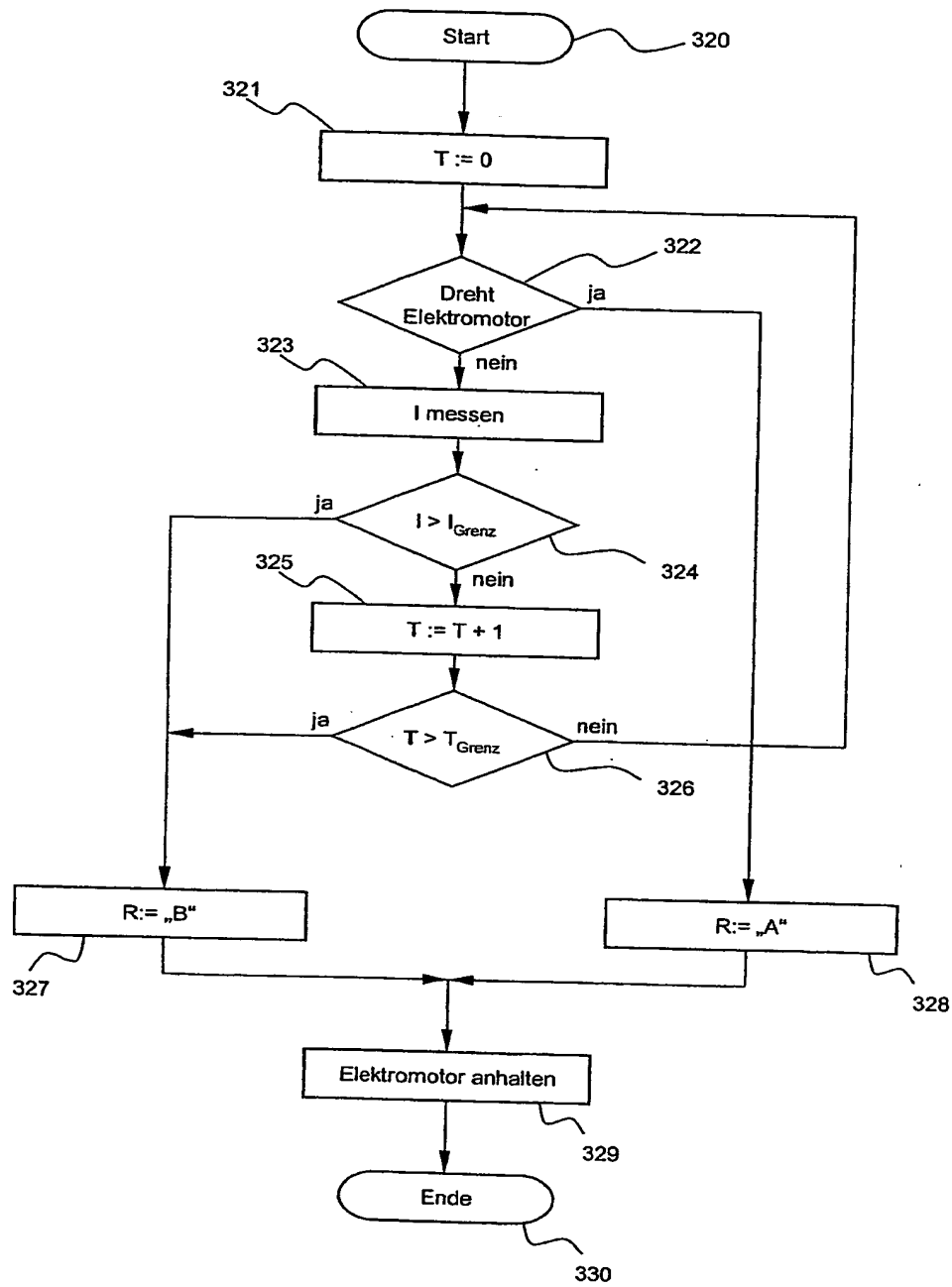


Fig. 35